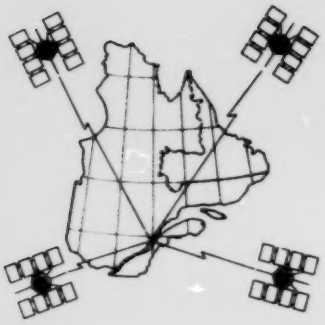


RESEARCH IN GEODETIC SCIENCES

SHORT DESCRIPTIONS OF THE 1979-1983 PROJECTS

RECHERCHE TERRITORIALE

1984

Québec

85-0459/

RESEARCH IN GEODETIC SCIENCES

SHORT DESCRIPTIONS OF THE 1979-1983 PROJECTS

Recherche territoriale

GOUVERNEMENT DU QUÉBEC
MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE ET DES RESSOURCES
SERVICE DE LA RECHERCHE (TERRES ET FORÊTS)

1984

Copies of this document are available at:

Ministère de l'Énergie et des Ressources
Recherche territoriale
1995, bd Charest Ouest
Sainte-Foy (Québec)
G1N 4H9

ISBN 2-550-10860-4

Dépôt légal

Bibliothèque nationale du Québec

Tous droits réservés - Gouvernement du Québec

PREAMBLE

Between 1973 and 1978 at the *Ministère des Terres et Forêts* (MTF), research and development in geodetic sciences were practised in the *Direction générale du domaine territorial (DGDT)*. The practice was however of an *ad hoc* nature and in 1978, *DGDT* decided to implement a specific program of R/D during the financial year 1979-80; this program has been pursued annually since then.

At the beginning, the R/D activity in geodetic sciences, named *Recherche territoriale*, was attached for administrative purposes to the *DGDT*; however, when *MTF* was abolished and replaced by the *Ministère de l'Énergie et des Ressources (MER)*, *Recherche territoriale* became part of the research service (*Service de la recherche*), under the *Direction de la planification et de la recherche* of *MER's Terres et Forêts* sector.

A permanent employee is in charge of *Recherche territoriale*; for certain aspects of the work (e.g. secretariate, administrative assistance, graphics, editing of reports and technical assistance such as field measurements and computations), he may call upon the help of several units of the *Terres et Forêts* sector. The R/D program is also allotted a budget which amounts to approximately 2 percent of the production budget of the «surveys and mapping» activities. That budget covers the functional expenses for *Recherche territoriale*, the largest part being used for contracts to the university and private sectors or to other public agencies.

The annual R/D programs are proposed by *Recherche territoriale*, whose person-in-charge also presides over a management

committee called *Comité de gestion du programme de recherche territoriale* (*CGPRT*). This committee is composed of the directors of the client directions and services, and is convened for exchange of information or for collegial decisions affecting either the budget or the previously adopted projects of the R/D program. The committee convenes at the request of either the president or the members.

The primary objective of the research or development projects is to evaluate as rigorously as possible the newest, commercially available techniques applicable to the geodetic sciences, or to develop new methods or instruments more beneficial than those currently employed. The evaluations or developments are then completed by recommendations for the optimal utilization of the new technology, and by opinions as to the justification (cost/benefit, etc.) of replacing the present methods of production by the newer ones.

TABLE OF CONTENTS

page

INTRODUCTION 1

Part A (projects by *Recherche territoriale*)

A I Satellite geodesy (Doppler) 3
A 2 Satellite geodesy (GPS) 7
A 3 Gyrotheodolite. 11
A 4 Electro-hydrostatic levelling 15
A 5 Radio-controlled levelling 17
A 6 Photogeodesy and photogrammetric accuracy 21
A 7 Inertial positioning 25
A 8 Laser profiling 29
A 9 Videotransfer 33

PART B (projects by the production directions and services)

B 1 *Direction des relevés techniques* (*Base géographique québécoise*) 37
B 2 *Service du cadastre* (Information system and digital graphics) 37
B 3 *Service de la cartographie* (Digital topographic/ cartographic development, FILAM, remote sensing). 37
B 4 *Service de la concession des terres* (Information system) 38
B 5 *Service de la géodésie* (Data manipulation and information systems, point marking) 38

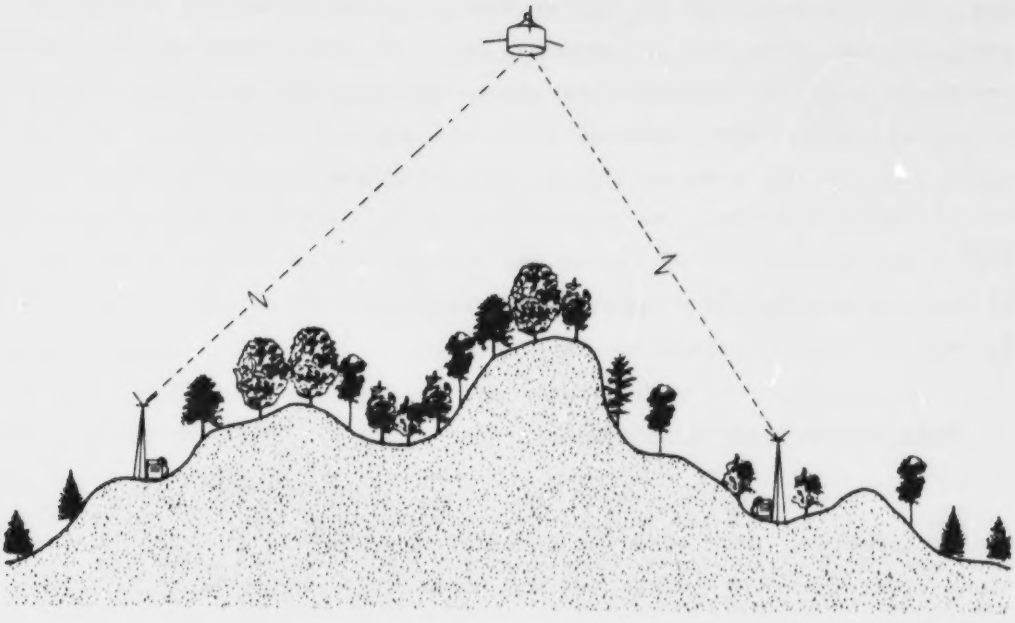
INTRODUCTION

This document describes the principal projects carried out by *Recherche territoriale* between 1979 and 1983. The descriptions constitute brief overviews; these are not meant to replace the more rigorous and detailed information normally to be found in technical reports, specialized journals or symposium proceedings. Wherever applicable, such references are identified.

The research or development projects are presented in two parts, A and B. Those of part A were specified, conducted and completed by *Recherche territoriale*. Part B mentions only, without description as in part A, the principal R/D projects specified and carried out essentially by the production units of *DGDT*, though for some there was a partial participation of *Recherche territoriale*.

For further information on the projects of Part A: Recherche territoriale, ministère de l'Énergie et des Ressources, 1995, boul. Charest Ouest, Sainte-Foy, Québec G1N 4H9 (418-644-1783).

The pertinent addresses for further information on the other projects are given in Part B itself.



A 1- EVALUATION OF THE DOPPLER TECHNIQUE IN SATELLITE GEODESY

Historical note

During the 1960's the United States navy established the Navy Navigational Satellite System (NNSS). Six satellites (polar orbit, named ***TRANSIT***) provided the framework of this system, which became available for civilian purposes at the end of that decade. The satellites transmit continuous, accurately controlled radio frequencies, as well as codes corresponding to their orbital position (ephemerides). Precise exploitation of the signals for purposes other than navigational was progressivily improved during the 1970's. Several «geodetic» receivers were constructed (U.S., Canada), and several mathematical models and computer programs (U.S., Canada, Europe) were developed for the purpose of transforming the observed Doppler variations of the ***TRANSIT*** frequencies into geodetic positions (latitude,

longitude, height). By 1978, first order horizontal geodetic accuracies were currently being obtained between points of 80-100 km spacing; this corresponded to lineal uncertainties (standard deviation level) of the order of 3/4 metre. This afforded, for instance, an economical means for Geodetic Survey of Canada (GSC) to densify their first order within the fundamental loops. The great advantages of the method lay in the possibility of observing day and night (data is automatically recorded) and practically in all types of weather, and also in the possibility of «bridging» between non-intervisible points, which often entails the economy of many intermediate points not strictly required for the project.

Need for additional research

The question raised in Quebec pertained to whether the Doppler technique could meet the accuracy requirements for introducing second-order geodetic points in the North. The study begun in 1979 by *Recherche territoriale* sought to determine the means of acquiring an accuracy greater than that observed until then: compared to the 3/4 metre required for the first order with 80-100 km spacing, a standard error of 30 cm was at that time tolerated for the Quebec second-order points (whose spacing is about 15 km).

Conduct of the research

As a first step, a test area was sought, the criteria being availability of a dense geodetic network, ease of access, and the possibility of testing, beyond the Doppler technique *per se* for horizontal positioning, the combined effect of Doppler and geoid model for vertical positioning. The region chosen was that of the Bois-Francs, overlapping the plain of the Saint Lawrence and the foothills of the Appalachians, immediately south of Victoriaville. This test area of 20 x 20 km fulfilled all the criteria, except that of the density of existing geodetic points. Owing to the collaboration of the *Service de la géodesie du Québec (SGC)*, the test network was completed.

The second part of the project comprised the simultaneous observation of the *TRANSIT* satellite signals at 8 selected points of the test base. A technical specification was prepared, outlining the precautions required for obtaining maximum accuracy. The measurements were carried out by *Sheltech Canada* (now *Nortech Canada*), using *JMR* Doppler receivers. Simultaneous observations of 50 satellite passes were obtained over a period of four days. The test was strictly meant for relative positioning.

Due to the collaboration of GSC, refined estimations of geoid undulations at the Doppler-observed points were obtained, as well as the transformation of the Doppler data by means of the Canadian program *GEODOP*; the data was also processed by *Geodetic Services Inc.* of Florida, using the *SAGA III* program. Also, Université Laval was called upon for some software development and for certain comparative analyses. Finally, all these results were compared and analysed at *Recherche territoriale*. It is noted that throughout, broadcast ephemerides were used.

Technical results

The final analysis concluded effectively to the possibilily of obtaining, via Doppler satellite observation, the following accuracies (standard deviation level) with respect to the surrounding first order points (considered errorless): 30 cm or better horizontally, and 25 cm or better vertically. This research determined that such accuracies are available (using broadcast ephemerides) with sufficient confidence only if certain constraints are adhered to, some of which are: 1) maximum simultaneity of observation; 2) a minimum of 50 passes; 3) inter-calibration of receivers; 4) using 3 base points for each group of 12 new points; 5) for heights, joint utilization of a refined geoidal estimation.

Application of results

Among the second order projects in northern Quebec since 1981, none have been of a configuration susceptible to gain cost-wise from

the Doppler technique. However, in 1981, GSC were planning to introduce about 60 new first-order Doppler points in Northern Québec. At the same time, *SGQ* was seeking to verify the quality of the integration of the complementary networks in the North. In order to meet both objectives, GSC agreed to modify their Doppler observations to include some of the constraints mentioned in the preceding chapter, and to make as many as possible of the new Doppler points coincide with the existing complementary points. In this manner, a considerable saving was realized, since it was no longer necessary for *SGQ* to verify the integration by long costly traverses.

Thus, the application of the conclusions of this research will have permitted the cross-verification of the new 1981 Doppler results and the integrated values of the complementary networks in northern Quebec. It is also to be hoped that the fact of using, for the 1981 project, a greater number than usual of base points coinciding with points of the fundamental geodetic loops (see constraint number 4 above), will contribute to reinforce the fundamental loops of Northern Quebec in the near-term North American redefinition.

References

Integrated densification by Doppler. Richard Moreau. ACSM Technical Papers, San Francisco, Sept. 1981.

Rapports techniques sur le projet Doppler 1979-80. Richard Moreau. Gouvernement du Québec, Ministère de l'Énergie et des Ressources, Recherche territoriale.

Geodetic satellite Doppler positioning. Jan Kouba. Collected papers, Geodetic Survey. Ottawa 1978.

A 2- EVALUATION OF GPS INTERFEROMETRY IN SATELLITE GEODESY

Historical note

Since the late 1970's, the U.S. naval forces are gradually putting into effect a new system for navigation and positioning called Global Positioning System (GPS). The satellites used for this system are named NAVSTAR, and at the end of 1983, 6 such satellites were in orbit for experimental purposes. Similarly to the TRANSIT satellites, the NAVSTAR's also transmit accurate radio frequencies and superimposed codes. However, beyond the Doppler technique, GPS also gives (or will give) the opportunity of using other positioning modes, such as pseudo-range and differential phase (interferometry). All these measurement modes for transforming the received signals into geodetic positions depend upon (for accuracy purposes) the availability of «keys» to some special codes, except the interferometric mode. The most well-known GPS receivers in 1983 are built by *Texas Instruments* (multi-mode) and *Macrometrics* (interferometry only). Accompanying software has been developed or is in a state of intense development. In fact both hardware and software aspects are still in a highly experimental and developmental stage and should remain so for the next few years. (Although it is already possible to make use of GPS due to the 6 existing satellites, its full potential will become available only after the deployment of the full constellation of 18 satellites by 1986 or 1987). Also, it is predicted that the TRANSIT satellites (see A 1) will remain operational until about 1992, after which only the NAVSTAR's will be available.

The primary purpose of GPS is to provide U.S. military forces with means of navigation at sea and in the air, both accurate and in real time. At this moment, it is not known to which extent the military forces will release for civilian use the «keys» to accurate decoding of the signals. For this reason, uncertainty persists as to medium or high accuracy geodetic applications after 1987, except of course for the interferometric mode which is independent

of the codes, but which lacks certain features to be found in the other modes, such as real-time determination, single-point positioning, etc.

The reason for research in Quebec

According to a long term prediction by the *Service de la géodésie du Québec*, geodetic points requiring medium accuracies (up to third order inclusively) will practically all have been determined by the second half of the present decade; however, such is not the case for the urban or semi-urban fourth order, for which about 40 000 points will remain to be established. Urban fourth order points require very high accuracy (standard error 2 cm); information received in the spring of 1983 pointed to the high probability of GPS interferometry effectively meeting that requirement. That level of accuracy would also be of direct interest, for instance, for certain engineering application (deformations of earthworks) or in geophysics (crustal movements).

In order to ascertain the technical feasibility of GPS for urban 4th order geodesy and other precise applications, it was decided in mid-1983 to carry out an appropriate test. According to presently available cost figures, it is also predicted that eventually, GPS would become more cost-beneficial than present standard measurement practices. This preliminary cost evaluation foresees that when GPS becomes fully operational (18 satellites and full-time coverage), a saving of 150 to 200 $ per point could be realized, that is 6-8 million $ for all of the 4th order in Quebec. It is pointed out that in the above-mentioned area of application, the particular qualities of the other measurement techniques are not important, so that immediate interest is focused on interferometry only.

The interferometric measurement project

Preparation began at *Recherche territoriale* for the GPS test during the summer of 1983. The test area was chosen in the city

of Sainte-Foy for verification of compliance to urban 4th order standards. In order to find out the ultimate accuracy of the method, a small triangular base (pre-established to the mm-level) was also chosen on the campus of Université Laval. Globally, the tests comprise the measurement of about 20 points. Technical criteria were established, and two research contracts were awarded, the first for field preparations and measurements, and for computation of results (*Michel Perron et Associés* of Montréal, which firm also called upon *Geo Hydro* of Maryland), and the second for the study of optimal mathematical models for GPS interferometry (Université Laval). By the end of January 1984, the field work had been completed, and the mathematical study had begun.

Results

The comparison of the results between the standard geodetic methods and GPS interferometry will be known about spring 1984; it is expected that a first technical report will be completed by summer 1984.

References

The MACROMETER: a compact radio interferometry terminal for geodesy with GPS. C.C. Counselman *et al*. Third International Symposium on Satellite Positioning. Las Cruces, New Mexico, 1982.

A 3- EVALUATION OF A GYROTHEODOLITE

Foreword

Traditionally, astronomical observations have been used in order to reestablish at intervals the correct orientation of geodetic networks. The method called for the determination of astronomical longitude at a point and also the astronomical azimuth from that point to an adjoining point of the same network. Then, the application of the Laplace equation in effect converted the astronomical azimuths into geodetic azimuths suitable for network adjustment purposes. This method is quite accurate but rather complex: bulky and delicate instruments are required, time must be kept to the millisecond level, good radio reception is needed for time signals, and above all the sky must be clear. The advent of the first gyrotheodolites in the 1960's had solved an abundance of problems in topometric surveys (orienting small local networks and underground work such as mining and tunneling), but those early instruments were insufficiently accurate (about 30 seconds of arc) for geodetic needs (3 second or better). However the principle of the gyrotheodolite was of utmost interest: simultaneous exploitation of the force of gravity, the centrifugal force due to earth rotation, and the gyroscopic effect to align the «zero» of the horizontal circle of a theodolite toward astronomical north, without need to see either the sun or the stars; the only restriction being sufficient visibility to point the telescope toward the adjoining azimuth station.

Finally, toward the end of the 1960's the Hungarian firm ***MOM*** began distributing an improved gyrotheodolite, the *GIB1* and its potential was further enhanced at Geodetic Survey of Canada (GSC). It was claimed that these extra refinements brought the initial uncertainty down to geodetic-compatible values. Thus geodetic application of a gyrotheodolite became of interest. This did not entirely solve the problem, because the Laplace equation also requires astronomical longitude (or, at least, precise knowledge of the east-west component of the deviation of the vertical).

Purpose of a research project

In practice, geodetic point determination in Québec by 1980 was essentially carried out by E.D.M. traversing. Owing to the difficulties of astronomical reorientations, these had not been adopted and instead, traverses were implemented in grid-fashion, which strengthened the network sufficiently, but required an excess of about 20 p. 100 in the number of points with respect to ordinary parallel traversing. In view of reducing costs by eliminating those excedentary points, it was proposed by ***Recherche territoriale*** to examine the combined use of gyro-azimuths and a refined geoid model for reorientation purposes.

Conduct of the project

Certain lines of the 2nd order test network (see A 1) were chosen, firstly because of the good accuracy of that network, and secondly because that area is very interesting as regards the geoid. Indeed, large gradients are observed there in the three components (undulation, deviations in the meridian and in the prime vertical).

The contract for the gyro-azimuth measurements and computation by a special mathematical model was carried out by *Gregerson Geodetic and Inertial Consultant* of British Columbia (formerly of GSC) who utilized the *GYMO* system (a refined model of the *MOM GIBI*). Also, estimated deviations of the vertical at the points concerned were provided by GSC.

Results

The geodetic azimuths for the lines concerned were already known. The combined gyro/geoid results were analyzed and converted to their geodetic azimuth equivalents. It was shown that these equivalents agreed within 2,2 seconds with the «true» azimuths. This result being compatible with Quebec second-order requirements, reorientation

by gyrotheodolite was recommended as a means of reinforcing long traverses. It was predicted that by diminishing the need for «cross-traversing», gyro-azimuths would entail a saving of 15 p. 100 of the cost of future production.

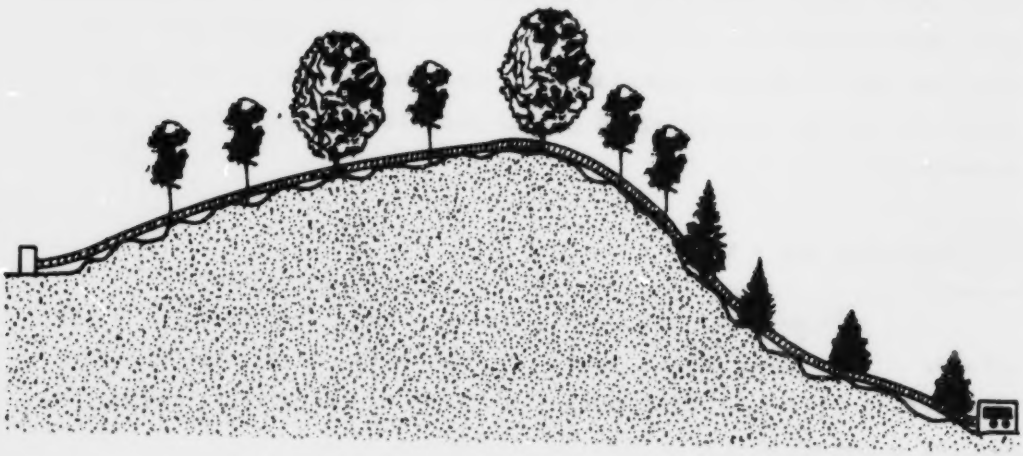
References

Estimation of the geoid and deflection components in Canada. Dr. Gérard Lachapelle. Collected Papers, Geodetic Survey. Ottawa, 1978.

Improvements of visual azimuth determinations with gyroscopic theodolites. L.F. Gregerson, Westbank, B.C., 1980.

Rapport sur le projet de recherches - Mesures d'azimuts par théodolites gyroscopiques. Richard Moreau. Gouvernement du Québec, Ministère de l'Énergie et des Ressources, Recherche territoriale. Novembre 1980.

A 4- ELECTRO-HYDROSTATIC LEVELLING



Foreword

Classical hydrostatic levelling is founded on the principle of communicating vessels: the levels of the liquid in the two vessels interconnected by a tube, reach exactly the same elevation. In current practice however, spirit or trigonometric levelling are more practical and efficient. In fact the classical hydrostatic method, by nature, must limit itself to the determination of near-zero differences of elevation, and requires many precautions, hence its very limited application.

However, towards the end of the 1970's, a means was found by a Québec inventor to combine electronics and the hydrostatic principle for the development of a new, versatile, levelling instrument. As shown in the drawing above, the instrument comprises a flexible tube filled with a liquid; at each extremity of the tube is attached a pressure transducer; the transducers are interconnected by conductors inserted within the tube; one of the extremities is equipped with an electronic circuit which decodes the voltage differentials between the transducers, applies corrections (temperature, non linearity,

etc.) and converts them to elevation differences. Thus, two major limitations of current methods (need for intervisibility) and classical hydrostatic levelling (near-zero differences) are eliminated by electro-hydrostatic levelling. For this reason, the new instrument appeared particularly appealing for increasing the productivity and cost effectiveness of detailed ground profiling (e.g. for cut-and-fill purposes).

Carrying out a test

Three circuits were chosen near the Québec bridge, between first order bench marks of the Geodetic Survey of Canada. Lengths and elevation differences of these circuits were, respectively: 100 m and 43 m, 150 m and 1 m; 200 m and 23 m.

An electro-hydrostatic level was leased from the inventor-builder, *Instrumentation GDD* of Sainte-Foy. Test measurements on the three circuits were conducted in November 1979. All told, 15 determinations of the midpoints of the circuits were obtained. The estimated standard deviation of one determination was ± 2 cm with respect to the mean, and the maximum discrepancy noted was 4 cm.

Conclusion

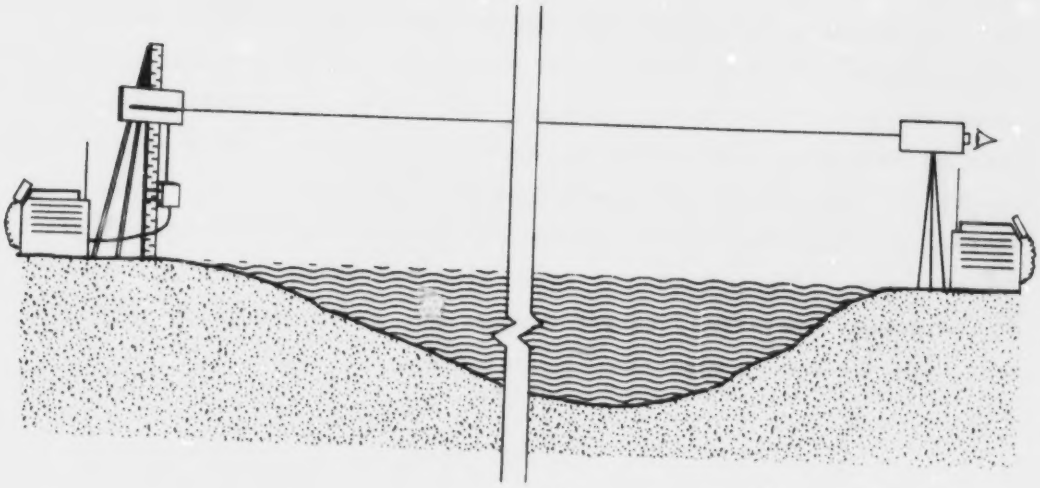
On the basis of those test results, it was concluded at *Recherche territoriale* that this new type of level could indeed be used advantageously for detailed heighting purposes such as required currently in civil engineering; this conclusion was subsequently mentionned at the Vertical Redefinition Symposium in 1980. It is also noted that several features have been added to the instrument since that time.

References

Intrumentation GDD Inc., 2406, chemin des Quatre-Bourgeois, Sainte-Foy, G1V 1W5.

L'altimétrie au Québec: pratique, redéfinition et recherche. Gaston Laflamme et Richard Moreau. Comptes-rendus du *NAD Symposium 1980*, Ottawa, mai 1980.

A 5- REMOTE CONTROLLED LEVELLING



Foreword

Normally, high-quality spirit levelling requires limiting the sights to about 50 metres. Thus, certain problems arise when circuits must cross bodies of water wider than 50 metres. For instance, the greater distance (sometimes up to 2 km) makes it impossible for the observer to read the staff directly, hence the need for a special target; also, changing refraction can introduce errors much larger than are compatible with first order work. A method traditionally employed to circumvent these problems has been that of multiple reciprocal and simultaneous (or quasi-simultaneous) observations. Although this method yields good results, it is nevertheless quite delicate of application; with a view to facilitate its usage, it was sought in 1981 to develop a complement to the existing instruments for the so-called «river crossings».

Concept of the complement

The principle adopted in view of improving the rivercrossing technique was that of permitting the observer himself to control the position of the target on the far staff, rather than via another

person responding to his visual or radio signals: this, in order to eliminate the problems of time-response and misinterpretation of signals. The guidelines for a system using commands modulated upon the carrier wave of a VHF transmission were elaborated at *Recherche territoriale*. It was foreseen that each VHF portable radio accompanying the parties on either side of the river, should have the capacity of switching between three functions: 1) normal voice communications; 2) commanding the displacement of the far target along its staff; 3) receiving the commands for displacing the near target. Various other characteristics were also specified, such as: length of autonomous operation, target dimensions, their speeds of displacement, and the accuracy of their positioning.

Detailed design and construction

The engineering offices *Intrumentation GDD* were chosen to produce a working model of the proposed system. Electronically, a choice of 5 distinct signals was implemented: high speed (up or down), low speed (up or down), and «stop target». At the receiving end, those signals are decoded and furnish appropriate pulses to a stepping motor, which, via a suitable mechanism, imparts a linear up-down motion to the target. A functional model of this system was completed in 1982.

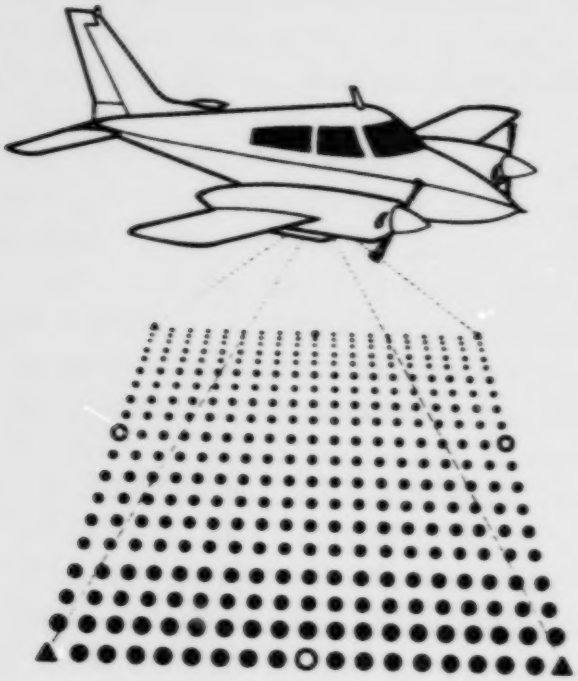
Results

According to tests carried out by the *Service de la Géodésie du Québec*, this system of remote-control for assisting river-crossing levelling, conforms effectively to the specification. Thus an easier method of executing this type of levelling is now available. Finally, it is noted that the same system could be adapted for other applications requiring accurate positioning of an object at a distance (N.B.: the user may chose whichever accuracy he requires).

References

Instrumentation GDD Inc., 2406 chemin des Quatre-Bourgeois, Sainte-Foy, G1V 1W5 (418-659-3513).

A 6- PHOTOGEODESY AND PHOTOGRAMMETRIC ACCURACY



Foreword

In the area of management, «photogeodesy» and «photogrammetric accuracy» were treated distinctly. However, in practice, there were a number of points common to both of these projects, and even a certain degree of interdependance. For this reason, they are here described jointly.

The research on photogrammatric accuracy was begun about 1980-81, after the identification by the *Service de la cartographie du Québec (SCQ)* of certain difficulties in the aerial triangulation process.

The project on photogeodesy was also begun about the same time, at the request of the *Service de la géodésie du Québec (SGQ)*. This project aimed at determining whether photogrammetry could be

used for the establishment of 4th order geodetic networks in urban territory, with the accuracy specified by *SGQ*, and at lower cost than the standard EDM traversing method.

Conduct of the research projects

In the matter of photogrammetric accuracy, the questions raised involved the levels of uncertainty or error to be expected in the many successive steps of the process: the original negative; the diapositive copy; point identification; aerial triangulation measurements; the propagation of error within the blocks; stereocompilation. No particular study was carried out on the accuracy of the original negative, since the photogeodesy project furnished this information. However, the quality of diapositive copies was examined: using special negatives from National Rsearch Council (NRC), diapositives were obtained from the Québec producers; then differential measurements between negatives and copies were obtained via contracts to NRC and to the *Société de cartographie du Québec*. Previous studies in Finland and in Québec (see A 9) had already provided the requisite information regarding the accuracy of identifying points on photos. Finally, on the basis of these various elements of information, a mathematical analysis was carried out at *Recherche territoriale* in the fall of 1983, to evaluate the global quality of the photogrammetric process, from original negative to compilation inclusively.

As for photogeodesy, it was sought to find out: accuracy of the original negatives; density and distribution of ground control required; overlap requirements; the optimal method of aerial triangulation, and the level of accuracy attainable; the cost of photogeodesy compared to that of standard EDM traversing. Initial investigations were carried out by research personnel at Université Laval; results of these studies, received in 1980 and 1981, encouraged further interest in the method. *Recherche territoriale* then proceeded to a final phase involving a test in «real life» for the territory of the town of Maniwaki. A fourth order network was installed by

standard methods (contract to *Grégoire-Courchesne*, Hull surveyors, for measurements and targetting) according to site locations specified by the *Service du cadastre*; the collaboration of *SGQ* (completion of 2nd order and computation of 4th order) and *SCQ* (aerial photography), completed the ensemble of data required for the final evaluation. Subsequently, aerial triangulation measurements and computations were carried out by *Société de cartographie du Québec*. The project was completed at *Recherche territoriale* by a technical and cost/benefit analysis in the winter of 1983-84.

Results

a) Conclusions of the photogrammetric accuracy investigation.

1. Provided that present specifications are respected, that the instruments used are in a normal state of repair and calibration, and that normal precautions are taken during photography and copying, the actual quality of basic photographic material is sufficient for the mapping criteria of Québec.

2. A group of parameters, named «minimal», is suggested in order to guarantee a homogeneous quality within blocks of aerotriangulated models; these parameters concern density and distribution of control, number and spacing of tie points, overlaps, and point rejection criteria in the aerial triangulation computations.

3. Recommendations are made to carry out an optimization study of the photogrammetric process in view of possible monetary savings, and to provide the practicioners with an objective, analytical means for quality evaluation of each block (analogous for instance to the covariances or error ellipses currently used in geodesy).

b) Conclusions of the research in photogeodesy

1. When photogeodesy is used, there is no more need for geodetic third order networks (it is possible to «bridge» between 2nd order and fourth order via photogrammetry).

2. Application of photogeodesy would be practical only on relatively flat territory, where 1:4000 aerial photography can be flown without too much difficulty.

3. The following scenario combining large-scale mapping (1:1000) and the introduction of a dense «photogeodetic» 4th order grid, it is predicted, would generate a saving of 20 to 25 p. 100 over the cost of present methods:

i) limitation to the periphery of 2,5 x 2,5 km territorial blocks, of the 2nd order control points;

ii) monumentation and targetting of a grid of 4th order points, at a density fourfold that presently adopted;

iii) photographing in one flight, the 1:5000 coverage for mapping and the 1:4000 coverage for photogeodesy;

iv) measuring for aerial triangulation directly on the negatives, and computing by a «bundle» model.

4. This method would furnish, without ground measurements except the 2nd order control, a 4th order grid of accuracy $\sqrt{3}$ times less than the present Québec standard, but four times as dense. What really counts is the degree of accuracy with which detail surveys (e.g. property boundaries, utilities equipment, etc.) are integrated into the geodetic system; therefore it is only a matter of tying-in the detail work three times more often, in order to attain the same quality of integration as previously.

Reference

Photogéodésie. Richard Moreau. Gouvernement du Québec, ministère de l'Énergie et des Ressources, Recherche territoriale. Janvier 1984.

A 7- INERTIAL POSITIONING

Foreword

By the mid-20th century, marine and air navigation were already large beneficiaries of orientation methods founded upon the inertial principle. The application of this principle to medium accuracy positioning in addition to orientation began in the 1960's, when a United States military laboratory equiped a gyroscope-stabilized platform with accelerometers and a special computer. By the double integration of the sampled accelerations in each axis of the platform, real-time positions of a moving vehicle could be obtained. The objective at that time was to render artillery operations as mobile and accurate as possible. The application of inertial technology to surveying in general only began around 1973 with the *Litton Autosurveyor* system. Later, two other systems were developed, the *FILS II* by *Ferranti* and the *GEO/SPIN* by *Honeywell*. All these systems are derived from platforms initially designed for military purposes or for precise navigation over long air routes.

In its operation for positioning purposes, an inertial system must be installed either in a vehicle or a helicopter. After an initial setting to the coordinates of a known base point, it is

then transported successively to other points for which the positions are desired (longitude, latitude and height); finally, the traverse is closed on a second known base point. The on-board computer thereafter distributes the «closure error» observed at the last point, and furnishes coordinates for each intermediate point. Refinements to the process include cross-traversing and off-line computations by means of special mathematical models on large computers.

Toward the end of the preceding decade, several government and a few private agencies were currently applying inertial technology to surveying. In a Canada, after an intensive methodological development, Geodetic Survey of Canada began production with the *Litton Autosurveyor* in 1975 for 1: 50 000 mapping control. Later, other agencies including Hydro-Québec also made use of this technique for mapping control.

Research in Québec

In 1978, a first investigation had been conducted at Hydro-Québec in order to verify the accuracy and cost-effectiveness of inertial surveying for mapping control. It had been shown that, at that time, accuracy specifications were in fact met for 1: 20 000 mapping control; as for cost-effectiveness however, much depended upon the nature of the terrain – on rather flat and wooded land such as North-West Québec near the south end of James Bay, the advantages of inertial surveying (combined with those of Doppler) appeared quite positive, but in those areas of sufficient relief and sparse forest (northern part of James Bay, Hudson Bay, eastern North Shore of the Saint Lawrence), the methods already in use (conventional and helicopter-aided) still remained less costly than inertial.

The 1980 project

The ***Service de la géodésie du Québec*** (*SCQ*) had by 1980 established a high-quality EDM traverse in Parc des Laurentides,

linking the fundamental geodetic networks bordering the North Shore of the Saint Lawrence and the south side of lake Saint-Jean. A few points were added, in order to form two extra configurations for the testing of particular characteristics of inertial systems, such as «heading sensitivity» and the influence of the spacing of «zero updates» (momentary immobilization of the system for the purpose of correcting for drifts of the accelerometers and gyroscopes).

By courtesy of Geodetic Survey of Canada, inertial measurements by their *Litton* system were conducted on certain segments of the Parc des Laurentides traverses in the spring of 1980. Also, similar determinations were obtained by means of the *Ferranti* system via a contract to *Sheltech* of Calgary; these were terminated in early December 1980.

The 1982 project

Information received at *Recherche territoriale* in early 1982 indicated the possibility of an improved performance of the *Ferranti* system with respect to that observed in 1980, following modifications brought to it in 1981. It was then decided to proceed with a new test. However, rather than the Parc des Laurentides area, the comparison base was chosen in the Bois-Francs region (see A 1). The existing high-quality network was expanded: the additional standard geodetic measurements for that purpose were carried out by *SGQ* and the land surveyors *Rochette et Lahaie* of Shawinigan. Finally, the preparation and conduct of the inertial project were entrusted by contract to *Société de positionnement inertiel et spatial* of Montréal, who called upon *Nortech* of Calgary for the inertial measurements *per se*.

Results

After analysis of the 1980 results, reports were made to the interested ministerial parties and at the international symposium

of June 1981. According to those results, inertial technology could be used for ground control for maps of scale 1: 10 000 or less, which indicated an improvement since 1978; as in 1978, no general rule could however be proposed in the matter of cost/benefit – each project to be pre-examined on its own merits as to the best suitability of inertial or other available techniques.

From the results of the late-1982 project, it was concluded that the modifications to the *Ferranti* system (or the methodology of its application) since 1980 had indeed brought improvements in performance. Those results showed that the system could now be counted upon to yield an accuracy compatible with vertical control for mapping scales of 1: 5000 or less.

A project for testing the newest model of the *Litton* system on the Bois-Francs base has been included in the 1984 research program.

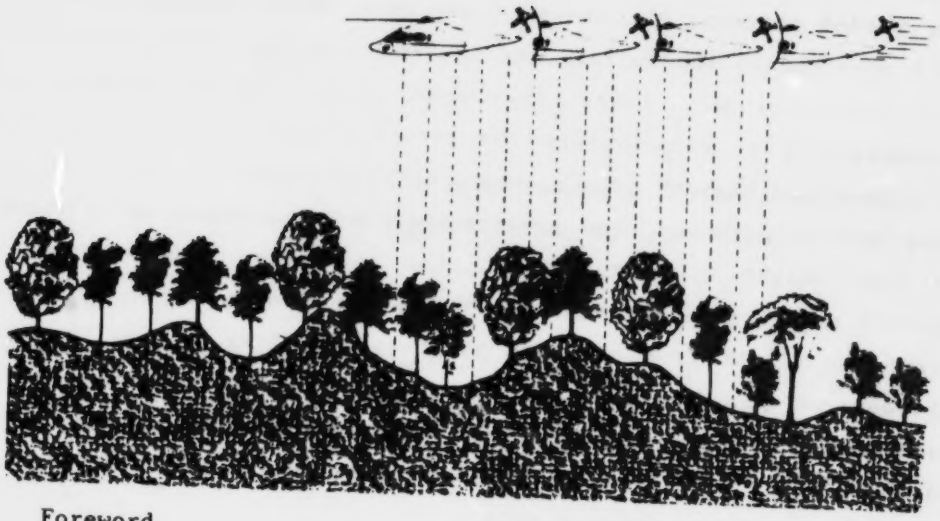
References

Inertial geodesy in Canada. L.F. Gregerson, American Geophysical Union, San Francisco, 1975.

Inertial results vs *integrated survey standards*. Richard Moreau. Proceedings of the second Inertial Symposium, Banff, June 1981.

Internal reports (1981 and 1983), *Recherche territoriale*. Gouvernement du Québec. ministère de l'Énergie et des Ressources, Recherche territoriale.

A 8- LASER PROFILING



Foreword

Traditionally, heighting for special maps (e.g. flood plain data) or civil engineering (e.g. cut and fill, profiles for energy routes) had been obtained by standard levelling practices or photogrammetry. This last technique however must be limited practically to areas of bare ground. A new technique is now commercially available which minimizes ground surveys and by-passes the disadvantage of photogrammetry in the presence of vegetation. The technique makes use of a helicopter for the transportation of an inertial positioning system and a laser whose beam, maintained vertical, mesures the height of the helicopter above the ground (or the foliage). As with the purely positional usage of an inertial system (see A 7), predetermined base points are required at the extremities of the strips of ground whose hypsography is required. The helicopter covers the terrain by several parallel flight lines. During flight, the inertial continuously determines the X, Y and Z positions of the «zero point» of the laser, and also the tip and tilt of the helicopter; by means of a servomechanism, these last values are used to maintain the laser beam vertical at all times. By subtracting the height H as given by

the laser from the Z of the inertial system, the ground elevation is determined. A large number of successive points are thus determined. Over wooded terrain, the narrow laser beam «peeks through» the many small openings in the foliage and thus samples the vertical distance helicopter-to-ground. Later, the lowest points sampled can be joined mathematically to reconstitute the ground profile (It is noted that the higher and highest points, which are automatically eliminated for topographical purposes, can nevertheless be recuperated by foresters for tree height information). In the helicopter, the very-small-interval samplings of X, Y, Z and H are recorded on magnetic support during the flight from one base point to the other. Finally, once the required profiles have all been measured and recorded, a batch processing procedure converts all data and presents them in the required form, e.g.: profiles and cross-sections; height contours; digital elevation values on a regular grid.

In order to assess this technique for both accuracy and economical aspects, it was decided at mid-1983 to conduct a test in Québec.

The 1983 test

A test area was chosen following a suggestion by *Service du génie* of *MER's Direction générale des forêts*. The site, which very aptly challenged the above-mentioned characteristics of laser profiling, is located some 100 km west of Maniwaki. Two zones were chosen, one for the production of a large-scale contour map, and the other for the production of profiles and cross-sections. The results from standard methods for those two zones are already available, so that the final comparison will be expeditious.

Preparation for the project and its supervision in the field were undertaken (via contract) by the *Société de positionnement*

inertiel et spatial of Montréal, who called upon *Nortech* of Calgary for the equipment and its operation. The work was finalized toward the end of November 1983.

Results

It is expected that the analysis of the results will be completed by *Recherche territoriale* in the spring of 1984.

Reference

Terrain profiling using an inertial survey system integrated with an airborne laser altimeter. M.L. Engler, 1983 ACSM-ASP Fall Convention, Salt Lake City, Utah.

A 9- VIDEOTRANSFER

Foreword

The question of precise identification of ground points (control points or points to be determined photogrammetrically), on aerial photographs, has always been a matter of concern. The usual method used in medium scale applications of photogrammetry is that of targetting by means of long strips of white cotton; ideal in principle, this method nevertheless suffers from certain disadvantages - the contrast with the ground might be insufficient from the «viewpoint» of the photographic emulsion - at times the target suffers from removal or depredation between the time of its installation and the photoflight - also the large targets are quite costly (the ground must be cleared, and a good installation to withstand bad weather is time-and-material-consuming). It is noted that this targetting method is usually employed in remote areas where helicopter transport is the norm.

A method which had already been used to minimize some of the disadvantages of large targets is that of photo-transfer. For this purpose, small low-cost temporary targets are used to locate the points, and their images within the surrounding topographic details

are obtained by, for instance, photographing with a 35 mm camera at low altitude from a small aircraft or a helicopter. Subsequently, the 35 mm diapositives (large scale) are used in a point transfer and marking device commonly known as *PUG*, in conjunction with the small or medium scale aerial photographs; this permits the introduction of an artificial mark at the correct position of the desired point. Phototransfer thus solves the identification problem partially, by eliminating the dangers of depredation or removal, and by reducing costs; however it is not entirely safe and «one-shot». The risk always remains (since development of the film is necessarily delayed) that contrast turns out to be insufficient or that images are fuzzy or even inexistant, in which case a costly return flight to the points becomes necessary for repeating the identification photography.

With a view to circumventing this last disadvantage of photo-transfer, it was envisaged at *Recherche territoriale* in the summer fo 1979 to experiment capture of the images by video rather than photo technique.

The 1979-80 experimental development

Before engaging important expenses such as for helicopter time, laboratory tests were conducted using commercially-available video equipement (camera, cassette recorder, monitor). It was observed that the video process would not introduce undue image deformation.

Thereafter, a test site was chosen at the suggestion of the *Service de l'arpentage*, and the *Service de la cartographie* made a helicopter available for the research activity. The test was conducted on four legal survey markers south of Montmagny. The technique followed was: installation of a small target on the marker; immediately afterward, a short helicopter flight above the point for the recording of a few seconds of video images: immediate playback (while

still in hovering flight) on the small on-board monitor to be a absolutely sure of the distinct presence of the target image in the surrounding topographic details; then immediate flight toward the next point to be identified, etc.

The images thus recorded on video-cassette were later played back («stop» made on the best-appearing frame), and transfered, as indicated in the illustration, onto 35 mm diapositives. Afterwards, the process was identical to that of photo-transfer. According to the technician at *SCQ* who made the *PUG* transfer,the images derived from the video process easily achieved stereoscopic fusion with the corresponding parts of the medium scale aerial photos, which yielded positive artificial marking. A detail worth noting, is that the various parameters in the process (focal and object distances of both video and 35 mm cameras) should be chosen such that the final scale of the identification diapositive is about 2,5 times as large as that of the high-altitude photo.

The project also required the geodetic determination by accurate ground methods, of the four test points (collaboration of *Service de l'arpentage* and *SCQ*). Finally, a local well-controlled aerial triangulation, restricted to the pertinent photos only, was carried out by *SCQ*; thus the artificial points derived from the video images were measured and calculated photogrammetrically.

Results

The comparison between the coordinates obtained by video-transfer and photogrammetry and those of the standard geodetic measurements, indicated a level of accuracy amply sufficient for cartographic purposes (better that 10 µm at the scale of the high-altitude photos). It was also determined that in territory where helicopter transportation is necessary in any case, video-transfer is substantially less costly than the installation of large semi-permanent targets. One other advantage is that capture of the video image need not be carried out before the medium-scale photo-flight.

The videotransfer method has currently been used these last three years by the *Service de l'arpentage* as an aid to the photogrammetric determination, within the blocks of photos for 1: 20 000 mapping, of numerous points needed for the compilation of the legal limits of public lands.

References

Rapport sur le projet de recherche en photo-identification. Gouvernement du Québec. ministère de l'Énergie et des Ressources, Recherche territoriale. May 1980.

Le vidéotransfert en aérotriangulation. Richard Moreau, The Canadian Surveyor, June 1981.

B 1- *Direction des relevés techniques*

This directorate has begun certain studies in view of the establishment of an information system for geographic and land data called *Base géographique québécoise* (*BGQ*). In particular, a preliminary study was effectuated for the choice of an optimal structure for *BGQ*, and the evaluation of new types of computers is in progress as to their potential for diverse functions (e.g. scientific computation, storage, remote sensing images). For further information: Direction des relevés techniques, 1995, boul. Charest Ouest, Sainte-Foy, Québec, G1N 4H9.

B 2- *Service du cadastre*

This service has already constituted an information system for cadastral registers and indices. Further development is in progress for interfacing this system with digital topographic data files and for other numerical transformations. For further information: Service du cadastre, 2125, rue Branly, Sainte-Foy, Québec, G1N 4C7.

B 3- *Service de la cartographie*

This service pursues the development of procedures, commands and software for the improvement of production efficiency in digital topography/cartography. Development (essentially software) is continuing on a file of administrative and municipal limits (FILAM) and on applications of remote sensing to forestry. For further information: Service de la cartographie, 1995, boul. Charest Ouest, Sainte-Foy, Québec, G1N 4H9.

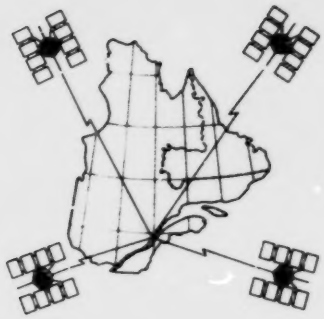
B 4- *Service de la concession des terres*

This service already possesses an information system on land use and tenure (SITAT). Limited additional software development

is required for full operational capability. For further information: Service de la concession des terres, 200-B, chemin Sainte-Foy, Québec, G1R 4X7

B 5- *Service de la géodésie*

This service has lately conducted studies and developments with the collaboration of Université Laval professors, on monumentation and «electronic note-keeping». The service has also defined a geodetic information system, GÉODEQ, which is operational, but for which added refinements are in progress. For further information: Service de la géodésie, 1995, boul. Charest Ouest, Sainte-Foy, Québec, G1N 4H9



RECHERCHE EN SCIENCES GÉODÉSIQUES

DESCRIPTIONS ABRÉGÉES

DES PROJETS DE RECHERCHE DE 1979-1983

RECHERCHE TERRITORIALE

1984

Québec

RECHERCHE EN SCIENCES GÉODÉSIQUES

DESCRIPTIONS ABRÉGÉES DES PROJETS DE 1979-1983

Recherche territoriale

GOUVERNEMENT DU QUÉBEC
MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE ET DES RESSOURCES
SERVICE DE LA RECHERCHE (TERRES ET FORÊTS)

1984

Pour obtenir d'autres exemplaires de ce document:

Ministère de l'Energie et des Ressources
Recherche territoriale
1995, bd Charest Ouest
Sainte-Foy (Québec)
G1N 4H9

ISBN 2-550-10860-4

Dépôt légal

Bibliothèque nationale du Québec

Tous droits réservés - Gouvernement d' Québec

AVANT-PROPOS

Déjà, entre 1973 et 1978 au ministère des Terres et Forêts (MTF), la recherche et le développement en sciences géodésiques étaient pratiqués à la Direction générale du domaine territorial, mais plutôt de manière *ad hoc*. En 1978, cette Direction générale décidait de rendre plus diversifiées et plus soutenues ses activités de recherche, ce qui conduisit à l'instauration d'un programme spécifique de recherche-développement au début de l'année financière 1979-80; ce programme se poursuit annuellement depuis lors.

Au début, la recherche dite territoriale relevait administrativement du Domaine territorial. Elle a subséquemment été rattachée au Service de la recherche, lors de l'abolition du MTF et de son remplacement par l'actuel ministère de l'Énergie et des Ressources (MER); le Service de la recherche fait partie de la Direction de la planification et de la recherche du secteur Terres et Forêts du MER.

La recherche territoriale compte un responsable permanent; il peut compter sur l'appui de plusieurs unités administratives du secteur Terres et Forêts pour le secrétariat, l'assistance administrative, le graphisme, l'édition des rapports et l'assistance technique (mesures sur le terrain, calculs). Le programme de recherche territoriale dispose aussi d'un budget qui compte pour environ 2 pour 100 de celui des activités de production en «levés et cartographie». La majeure partie de ce budget est consacrée à l'octroi de contrats de recherche à d'autres organismes (privés, universitaires ou publics), le reste servant au fonctionnement de l'activité.

Les programmes annuels de recherche territoriale sont proposés par le responsable, qui occupe également la présidence d'un «Comité de gestion du programme de recherche territoriale» (CGPRT). Ce comité est composé des directeurs des unités administratives clientes de la recherche et se réunit au besoin pour des échanges d'information ou encore pour décider collégialement de tout changement au programme susceptible de modifier le budget ou les projets. Le comité peut se réunir à la demande du président ou des membres.

Les projets de recherche ou de développement visent essentiellement à évaluer aussi rigoureusement que possible les nouvelles techniques disponibles commercialement et applicables aux sciences géodésiques, ou encore à développer de nouvelles méthodes ou de nouveaux instruments plus efficaces et plus rentables que ceux employés couramment. Ces évaluations ou développements se complètent par des recommandations quant aux moyens à mettre en oeuvre pour tirer le meilleur profit possible de la technologie, et par des opinions sur l'opportunité et la rentabilité de remplacer les méthodes actuelles de production par les nouvelles.

TABLE DES MATIERES

page

INTRODUCTION 1

PARTIE A (PROJETS DE LA RECHERCHE TERRITORIALE)

A I Géodésie spatiale (Doppler). 3
A 2 Géodésie spatiale (*GPS*) 7
A 3 Gyrothéodolite 11
A 4 Nivellement électro-hydrostatique. 15
A 5 Nivellement télécommandé 17
A 6 Photogéodésie et précision photogrammétrique 21
A 7 Positionnement inertiel. 27
A 8 Profilage par laser. 31
A 9 Vidéotransfert 35

PARTIE B (PROJETS DES DIRECTIONS ET SERVICES DE PRODUCTION)

B 1 Direction des relevés techniques (Base géographique québécoise). 39
B 2 Service du cadastre (Système d'information et graphisme numérique) 39
B 3 Service de la cartographie (Topographie/cartographie numérique, FILAM, télédétection) 39
B 4 Service de la concession des terres (Système d'information) 39
B 5 Service de la géodésie (Captage et stockage des données, matérialisation des points) 40

INTRODUCTION

Le présent document constitue un recueil des descriptions des principaux projets de recherche territoriale effectués au MER entre 1979 et 1983. Ces descriptions se veulent simples et concises; elles ne prétendent pas remplacer l'information plus rigoureuse et détaillée que l'on retrouve normalement dans les rapports techniques, les revues scientifiques et les compte rendus de symposia. Dans les cas pertinents, de telles références sont identifiées.

Les projets de recherche et de développement sont présentés en deux parties: A et B. La partie A regroupe les descriptions des projets conçus, gérés et complétés par la Recherche territoriale. Dans la partie B sont mentionnés (mais non décrits comme en A) les principaux projets dont la conception, la gestion et l'exécution sont dues essentiellement aux directions ou services de production du Domaine territorial, bien que, pour certains d'entre-eux, il y ait eu une participation partielle de la Recherche territoriale.

Pour de plus amples renseignements concernant les projets de la partie A: Recherche territoriale, Ministère de l'Énergie et des Ressources, 1995, boul. Charest Ouest, Sainte-Foy, Québec, G1N 4H9 (418-644-1783).

Pour de plus amples renseignements sur les autres projets, les adresses pertinentes sont indiquées dans la partie B elle-même.

A 1- ÉVALUATION DE LA TECHNIQUE DOPPLER EN GÉODÉSIE SPATIALE

Historique

Au cours de la décennie 1960, les forces navales des Etats-Unis avaient établi un système de navigation nommé ***Navy Navigational Satellite System (NNSS)***. Six satellites de type ***TRANSIT***, à orbite polaire, assuraient le fonctionnement de ce système, qui devint disponible pour fins civiles vers la fin de ladite décennie. Ces satellites émettaient continûment des ondes hertziennes de fréquence très précise, ainsi que des codes correspondant à leur propre position orbitale (éphémérides). L'exploitation précise de ces signaux pour des besoins autres que militaires ou navigationnels a été progressivement améliorée au cours de la décennie 1970. Plusieurs modèles de récepteurs dits «géodésiques» furent construits (Etats-Unis et Canada) et plusieurs logiciels furent aussi développés (Etats-Unis, Canada, Europe) pour le traitement mathématique des variations Doppler des signaux et enfin pour leur traduction en coordonnées géodésiques

«latitude, longitude, altitude». Vers 1978, il était devenu courant d'obtenir des précisions relatives de premier ordre entre des points espacés de 80 à 100 km, ce qui équivalait à une incertitude d'environ 3/4 de mètre (écart-type). Ceci permettait, par exemple, aux Levés géodésiques du Canada de densifier très économiquement leur réseau fondamental. Les grands avantages de la méthode sont dus à la possibilité d'observer jour et nuit (les données s'enregistrant automatiquement) et pratiquement sans égard aux intempéries, et à la possibilité de «faire le pont» entre des points non-intervisibles, ce qui permet souvent d'épargner un grand nombre de points intermédiaires non réellement requis pour les fins des projets.

Objectif d'une recherche additionnelle

Pour les besoins du Québec, la question qui se posait était de s'assurer que la technique Doppler pouvait rencontrer les critères de précision pour l'implantation des points géodésiques de deuxième ordre dans le Nord. Techniquement, l'étude entreprise en 1979 par la Recherche territoriale cherchait à déterminer le ou les moyens d'obtenir une précision plus grande que celle observée jusqu'alors: vis-à-vis le 3/4 de mètre nécessaire pour le premier ordre, un écart-type maximal de 30 cm était alors toléré pour le deuxième ordre québécois, dont l'espacement des points se situe à 15 km environ.

Conduite de la recherche

Comme première étape, un terrain d'essai fut recherché, en fonction de la disponibilité d'un réseau de points géodésiques, de la facilité d'accès et de la possibilié d'y tester, au-delà de la technique Doppler comme telle pour la planimétrie, l'effet combiné des résultats Doppler et d'un modèle de géoïde pour l'altimétrie. La région choisie fut celle des Bois-Francs, chevauchant la plaine du Saint-Laurent et les contreforts des Appalaches, au sud de Victoriaville. Ce terrain d'essai de 20 x 20 km répondait à toutes les exigences, sauf celle de la densité des points géodésiques existants. Grâce à la collaboration du Service de la géodésie du Québec, le réseau-test fut complété.

La seconde partie du projet comprenait l'observation des signaux des satellites *TRANSIT* sur huit points du réseau-test. Un devis technique fut préparé en vue d'inciter l'exécutant à prendre toutes les précautions nécessaires pour obtenir la précision maximale. On s'en est tenu strictement au mode différentiel d'opération. Les mesures furent exécutées au moyen d'appareils de marque *JNR*, par la Société *Sheltech Canada* (devenue depuis *Nortech Canada*). L'observation simultanée d'environ 50 passages des satellites fut complétée en une période de quatre jours.

Les observations furent confiées aux Levés géodésiques du Canada pour l'estimation raffinée des ondulations du géoïde et pour le calcul Doppler au moyen du programme canadien *GEODOP*, et à la société *Geodetic Services Inc.* de Floride pour le calcul par le programme *SAGA III*. L'Université Laval se vit confier du développement de logiciel et certaines analyses comparatives. Enfin, tous ces résultats furent comparés et analysés par la Recherche territoriale. Il est à noter que tous ces calculs furent effectués à partir des éphémérides transmises.

Les résultats techniques

Les analyses finales conclurent à la possibilité d'obtenir au moyen de la technique Doppler, les précisions suivantes au niveau écart-type, par rapport au réseau de premier ordre considéré comme parfait: 30 cm ou mieux en planimétrie et 25 cm ou mieux en altimétrie. La recherche a permis de déterminer que ces précisions sont disponibles (à partir des éphémérides transmises) avec le degré de confiance voulu seulement si un certain nombre de contraintes sont respectées, dont: 1) le maximum d'observations simultanées; 2) un minimum de 50 passages; 3) l'intercalibration des appareils; 4) l'utilisation de trois points de base pour chaque groupe de 12 nouveaux points; 5) pour l'altimétrie, l'utilisation conjointe d'un modèle raffiné d'estimation du géoïde.

Application des résultats

Dans le programme de géodésie de 2^{e} ordre pour le Nord du Québec, il ne s'est pas présenté depuis 1981 de configuration de réseau susceptible de bénéficier économiquement de la technique Doppler. Cependant, en 1981, les Levés géodésiques du Canada (LGC) envisageaient d'implanter environ 60 points Doppler dans le Nord du Québec pour y compléter leur canevas de premier ordre. Simultanément, le Service de la géodésie du Québec (SGQ) cherchait à contrôler la qualité de l'intégration des réseaux complémentaires du Nord. Afin de rencontrer ces deux objectifs, les LGC consentirent à modifier leurs observations Doppler pour y inclure certaines contraintes du chapitre précédent et pour faire coïncider dans la mesure du possible leurs nouveaux points avec ceux des réseaux complémentaires. Ce faisant, il n'était plus nécessaire que le SGQ vérifie l'intégration par de nouvelles polygonales onéreuses.

Ainsi, l'utilisation des conclusions de cette recherche aura permis la vérification réciproque des mesures Doppler et des réseaux complémentaires intégrés du Nord du Québec. On espère aussi que le fait d'avoir utilisé, pour ce projet, un plus grand nombre que par le passé de points de base coïncidant avec des points fondamentaux préétablis (voir contrainte 4 ci-dessus), permettra un renforcement des boucles fondamentales au Québec lors de la prochaine redéfinition géodésique nord-américaine.

Références

Integrated densification by Doppler. Richard Moreau. ACSM Technical Papers, San Francisco, Sept. 1981.

Rapports techniques sur le projet Doppler 1979-80. Richard Moreau. Gouvernement du Québec, Ministère de l'Énergie et des Ressources, Recherche territoriale.

Geodetic satellite Doppler positioning. Jan Kouba. Recueil de travaux - Levés géodésiques. Ottawa, 1978.

A 2- ÉVALUATION DE LA TECHNIQUE INTERFÉROMÉTRIQUE (*GPS*) EN GÉODÉSIE SPATIALE

Historique

Depuis la fin des années 1980, les forces navales des États-Unis s'emploient à mettre en place un nouveau système de positionnement et de navigation nommé *Global Positioning System* (*GPS*). Les satellites assurant le fonctionnement du *GPS* portent le nom de *NAVSTAR* et, fin 1983, il y en avait 6 en état expérimental d'exploitation. De façon similaire aux satellites *TRANSIT*, les *NAVSTAR* émettent des ondes de fréquences précises et certains codes. Au-delà de l'utilisation de la seule technique Doppler cependant, *GPS* permet (ou permettra) l'emploi d'autres méthodes de positionnement, par exemple la pseudo-trilatération spatiale et la mesure différentielle de phases (interférométrie). Tous ces modes de traduire les signaux reçus en position géodésique dépendent du déchiffrage de certains des codes portés par les signaux, à l'exception du mode interférométrique. Les récepteurs *GPS* les mieux connus en 1983 sont construits par *Texas Instruments* (appareil multimodes) et par *Macrometrics* (interférométrie seulement). Des logiciels d'exploitation ont été développés ou sont en développement intensif. En effet, il s'agit, tant pour le logiciel que pour le matériel, d'un domaine expérimental fort actif et qui devrait le demeurer pour quelques années encore. (Bien qu'il soit déjà possible de faire une utilisation pratique partielle du *GPS* en raison des 6 satellites disponibles, son plein potentiel ne pourra être réalisé qu'après la mise place de la constellation complète de 18 satellites *NAVSTAR* vers 1986-1987). Aussi, il est prévu que les satellites *TRANSIT* (voir A 1) demeureront en fonction jusque vers 1992, après quoi seuls les *NAVSTAR* seront utilisables.

La raison d'être première du *GPS* sera de fournir aux forces militaires des Etats-Unis un moyen de navigation en mer et dans les airs, précis et en temps réel. En ce moment, on ne sait pas

jusqu'à quel niveau de précision le déchiffrage des codes susmentionnés sera dévoilé aux non-militaires. Pour cette raison, il persiste une incertitude quant à l'éventuelle utilisation courante du *GPS* (après 1987) pour des applications géodésiques de moyenne ou haute précision, sauf évidemment pour la technique interférométrique, qui est indépendante des codes mais qui ne bénéficie pas de certaines qualités des autres modes tels les résultats en temps réel ou le positionnement de points indépendants (*single point*).

Pourquoi une recherche au Québec

Selon une prévision du Service de la Géodésie du Québec, les points géodésiques demandant une précision moyenne (jusqu'au troisième ordre inclusivement) seront pratiquement tous implantés vers la seconde partie de la présente décennie; par contre, il restera encore un très grand nombre de points de quatrième ordre (environ 40 000) à établir. Or le quatrième ordre en milieu urbain exige une haute précision (écart-type de 2 cm ou mieux) et certains indices encourageants reçus au printemps 1983 avaient permis de poser l'hypothèse que le mode interférométrique de *GPS* rencontrerait effectivement cette exigeance. Il est à noter aussi que cet ordre de précision serait de grand intérêt, par exemple, pour certaines applications de génie (déformation de digues et de barrages de terre) et de géotechnique (mouvements de la croûte terrestre).

En vue d'une éventuelle application pour le 4^{e} ordre urbain et d'autres usages précis, on décida de vérifier l'hypothèse de la précision, ce qui peut se faire immédiatement en raison des 6 satellites déjà en orbite. Selon les données de coûts actuellement disponibles, l'hypothèse d'une éventuelle rentabilité plus intéressante que celle des méthodes géodésiques habituelles a aussi été posée. Cette prévision préliminaire permet d'entrevoir, lorsque les satellites seront tous en place, une épargne de 150 à 200 $ par point, soit un total de 6 à 8 millions $ pour l'ensemble. L'hypothèse de rentabilité ne pourra cependant pas être entièrement vérifiée avant

1987. Il est à noter que ces applications potentielles exigent principalement la haute précision: les qualités des autres modes d'exploitation du *GPS* n'y seraient pas pertinentes, d'où l'intérêt exclusif immédiat pour l'interférométrie.

Projet de mesures interférométriques

Les préparatifs pour une recherche sur le *GPS* furent entrepris par la Recherche territoriale à l'été 1983. Le terrain d'essai choisi se situe dans la ville de Sainte-Foy en ce qui concerne la vérification pertinente au 4^{e} ordre urbain. En vue de connaître le potentiel ultime de la méthode, un triangle d'essai (prédéterminé au mm près) a aussi été choisi sur le campus de l'Université Laval. Globalement, les tests comprennent la détermination d'une vingtaine de points. Les critères techniques furent élaborées et deux contrats de recherche furent accordés, l'un pour les préparatifs-terrain, les mesures et le calcul (bureau *Nichol Perron et Associés* de Montréal, lequel fit appel aussi à *Geo Hydro* du Maryland), et l'autre pour l'étude d'un modèle mathématique optimal pour l'interférométrie *GPS* (Université Laval). A la fin janvier 1984, les travaux de terrain étaient terminés et l'étude mathématique, amorcée.

Résultats

Les résultats de la comparaison entre la géodésie classique et l'interférométrie *GPS* seront connus au printemps 1984 et un premier rapport technique de la Recherche territoriale est prévisible vers l'été 1984. Pour de plus amples informations, s'adresser à la Recherche territoriale.

Référence

The MACROMETER: a compact radio interferometry terminal for geodesy with GPS. C.C. Counselman *et al.* Third International Symposium on Satellite Positioning. Las Cruces, Nouveau-Mexique, 1982.

A 3- ÉVALUATION D'UN GYROTHÉODOLITE

Avant-propos

Traditionnellement, la méthode utilisée pour rétablir l'orientation des réseaux géodésiques était celle de l'observation astronomique. A certains intervalles, on déterminait la longitude astronomique en un point et l'azimut astronomique en ce point vers un point adjacent du réseau. L'utilisation de l'équation de Laplace permettait ensuite de convertir les valeurs astronomiques en valeurs géodésiques pour la compensation des réseaux. Cette méthode était très précise, mais plutôt complexe: instruments volumineux et délicats, nécessité d'une garde du temps à la milliseconde et d'une bonne réception des signaux horaires, mais avant tout un ciel clair. L'apparition des premiers gyrothéodolites dans les années 1960 avait apporté une solution à bon nombre de problèmes de topométrie (orientation de petits réseaux locaux et travaux sous terre, tunnels, mines), mais la précision atteinte par ces premiers instruments n'était pas suffisante (environ 30 secondes d'arc) pour les besoins géodésiques (3 secondes ou mieux). Cependant, le principe du gyrothéodolite répondait merveilleusement bien aux exigences: possibilité, par l'exploitation simultanée de la pesanteur, de la force centrifuge due à la rotation de la terre et de l'effet gyroscopique, d'aligner le «zéro» du cercle horizontal d'un théodolite vers le nord astronomique, sans observation ni du soleil ni de la polaire; seule restriction, que la visibilité atmosphérique soit suffisante pour les visées vers le point d'azimut adjacent.

Enfin, vers la fin de la décennie 1960, la société hongroise ***NON*** produisit l'excellent gyrothéodolite *GIB1*. Dans les années qui suivirent, sa performance fut encore davantage améliorée par les Levés géodésiques du Canada (LGC). Ces raffinements additionnels, disait-on, faisaient passer la précision initiale à un niveau compatible avec les fins géodésiques. Ainsi l'application géodésique d'un gyrothéodolite devenait d'intérêt potentiel pour la détermination d'azimuts précis. Cela ne résolvait que partiellement le problème,

car l'équation de Laplace exige aussi une longitude astronomique (ou, à tout le moins, la connaissance assez précise de la déflexion de la verticale dans le sens est-ouest).

Objectif d'une recherche

Dans la pratique, l'implantation des points géodésiques au Québec en 1980 faisait presque exclusivement appel à la polygonation. En raison des aléas de la réorientation par la méthode astronomique, celle-ci était en défaveur et l'on procédait plutôt par des recoupements orthogonaux des polygonales, ce qui renforcait suffisamment le cavenas mais obligeait à l'établissement d'un nombre excédentaire de points (environ 20 pour 100). En vue d'une réduction des coûts par l'élimination de ces points excédentaires, la Recherche territoriale proposa d'examiner le potentiel de la réorientation par gyrothéodolite combinée à l'utilisation d'un modèle raffiné de géoïde pour la connaissance de la déflexion de la verticale.

Conduite du projet

Des côtés du réseau de 2^{e} ordre des Bois-Francs furent choisis en vue d'essais, en raison d'une part de la bonne précision de ce réseau et aussi du fait que cette région est très intéressante en ce qui concerne le géoïde. En effet, celui-ci exhibe de forts gradients dans les trois composantes (ondulation, déflexion nord-sud, déflexion est-ouest).

La mesure d'azimuts par gyrothéodolite et les calculs spéciaux furent confiés à l'automne 1980 à *Gregerson Geodetic and Inertial Consultant* de Colombie-Britannique (autrefois des LGC), qui utilisa le système *GYRO* (version améliorée du *GIBI*). On fit aussi appel aux bons soins des LGC pour obtenir les estimations de la déflexion aux points concernés.

Résultats

Les azimuts géodésiques des côtés concernés étaient déjà connus. On procéda à l'analyse des résultats gyro-azimutaux et à leur conversion en azimuts géodésiques pour fins de comparaison. Ces résultats démontrèrent que le processus se comparait à 2,2 secondes près avec les valeurs déjà connues. Celà étant compatible avec les exigences du 2^{e} ordre géodésique du Québec, on recommanda la réorientation par gyrothéodolite comme moyen de renforcer les longues polygonales et, partant, d'éliminer les recoupements orthogonaux. On estimait que ce processus engendrerait une épargne de 15 pour 100 pour la production future.

Références

Estimation of the geoid and deflection components in Canada. Dr. Gérard Lachapelle. Collected Papers, Geodetic Survey, Ottawa, 1978.

Improvements of visual azimuth determinations with gyroscopic theodolites. L.F. Gregerson, Westbank, B.C., 1980.

Rapport sur le projet de recherches - Mesures d'azimuts par théodololite gyroscopique. Richard Moreau. Gouvernement du Québec, ministère de l'Énergie et des Ressources, Recherche territoriale. Novembre 1980.

A 4- NIVELLEMENT ÉLECTRO-HYDROSTATIQUE

Avant-propos

Le nivellement hydrostatique classique est fondé sur le principe des vases communicants: les niveaux du liquide dans les deux vases interreliés par un tube atteignent exactement la même altitude. En pratique courante cependant, les nivellements géométriques ou trigométriques sont plus commodes d'utilisation. En effet, la méthode hydrostatique classique se limite par définition à la détermination de différences d'altitudes voisines de zéro et s'accompagne de multiples précautions, d'où son utilisation très limitée.

Or, vers la fin de la précédente décennie, un inventeur québécois trouva le moyen d'allier l'électronique et le principe hydrostatique pour développer un nouvel instrument très intéressant. Comme l'indique le schéma, l'instrument comprend un tube flexible rempli d'un liquide; à chaque extrémité, le tube est relié à un traducteur pression/tension électrique; les deux traducteurs sont reliés entre-eux par des conducteurs baignant dans le liquide; l'une des extrémités comporte également un circuit électronique permettant de décoder les différences de tension entre les deux traducteurs, d'appliquer certaines corrections (température, non-linéarité, etc.) et de convertir le tout en différence d'altitude. Deux restrictions

majeures des méthodes courantes (besoin d'intervisibilité) et de la méthode hydrostatique classique (extrémités de même altitude) sont ainsi levées lors de l'utilisation du nivellement électro-hydrostatique. Pour cette raison, celui-ci paraissait particulièrement prometteur pour accélérer les levés hypsométriques détaillés (ex: pour fins de cubages associés aux études de routes, etc.) et pour en réduire les coûts.

Exécution d'un test

Trois circuits furent choisis à proximité du pont de Québec, entre des repères de nivellement de premier ordre des Levés géodésiques du Canada. Les longueurs et dénivellées des circuits étaient, respectivement: 100 m et 43 m; 150 m et 1 m; 200 m et 23 m.

Un niveau électro-hydrostatique fut loué de l'inventeur-fabricant, *Instrumentation GDD* de Sainte-Foy. Les mesures furent effectuées en novembre 1979. On obtint en tout quinze déterminations des points milieux des circuits. L'écart-type d'une détermination était de ± 2 cm par rapport à la moyenne et l'écart maximal noté, de 4 cm.

Conclusion

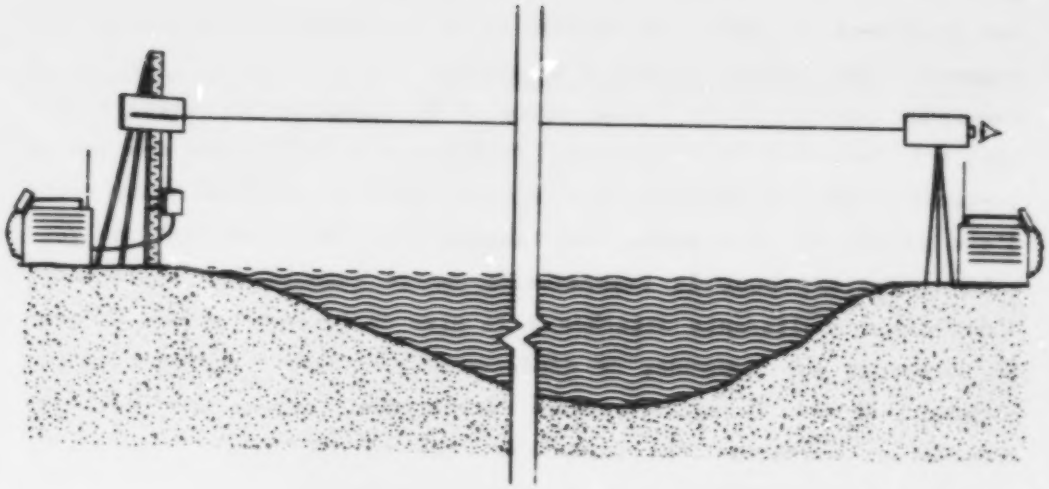
Sur la base des résultats du test, on a pu conclure à la Recherche territoriale que ce nouveau modèle de niveau pouvait effectivement être exploité avantageusement pour les levés hypsométriques détaillés, comme on l'a mentionné subséquemment au Symposium sur la redéfinition verticale en 1980. A titre d'information, notons que plusieurs améliorations ont été incorporées à cet instrument depuis lors.

Références

Instrumentation GDD Inc., 2406, chemin des Quatre-Bourgeois, Sainte-Foy, G1V 1W5.

L'altimétrie au Québec: pratique, redéfinition et recherche. Gaston Laflamme et Richard Moreau. Comptes-rendus du *MAD Symposium 1980*, Ottawa, mai 1980.

A 5- NIVELLEMENT TÉLÉCOMMANDÉ



Avant-propos

Le nivellement de haute précision exige normalement de restreindre les portées à environ 50 mètres. Ainsi, certains problèmes se posent lorsqu'il s'agit de circuits devant traverser un cours d'eau plus large que 50 mètres. D'une part, l'éloignement de la mire (quelquefois jusqu'à 2 km) rend impossible l'observation directe des graduations, d'où le besoin d'une cible spéciale; d'autre part, la réfraction risque d'être changeante et d'introduire des erreurs incompatibles avec le degré de précision recherché. Une méthode traditionnellement employée pour résoudre ces problèmes est celle des multiples observations réciproques simultanées (ou quasi-simultanées). Bien que donnant de bons résultats, cette méthode est cependant délicate d'application; c'est en vue d'en faciliter l'exercice qu'on envisagea en 1981 de développer un nouveau complément à l'appareillage du nivellement de précision courant pour les longues portées.

Conception d'un complément d'appareillage

Le principe adoptée en vue d'améliorer le rendement du nivellement à longue portée consiste pour l'opérateur à commander la

cible éloignée lui-même plutôt que par l'intermédiaire d'une autre personne répondant à ses signaux visuels ou radio, en vue d'éliminer les problèmes de temps de réponse et de mauvaise interprétation des signaux. Les grandes lignes d'un système fondé sur l'utilisation de commandes surimposées à l'onde porteuse d'émissions THF furent élaborées à la Recherche territoriale. On prévoyait que chacune des radios portatives THF accompagnant les équipes de part et d'autre du cours d'eau puisse, en alternance, fonctionner pour les communications verbales normales, pour la transmission de la commande du déplacement d'une cible coulissante attachée à la mire de la rive opposée et pour la réception des commandes de déplacement de cible. Quelques autres caractéristiques furent également spécifiées, telles les périodes d'opération autonome, les dimensions des cibles, leurs vitesses de déplacement et la précision de leur positionnement.

Conception détaillée et fabrication

Le bureau d'ingénieurs *Instrumentation GDD* fut choisi pour mettre au point et fabriquer les composantes mécaniques et électroniques du système. Electroniquement, sur commande de l'observateur, il y a un choix de 5 signaux distincts: haute vitesse (vers le haut ou vers le bas), basse vitesse (vers le haut ou vers le bas) et arrêt de la cible. Du côté réception, ces signaux sont transformés pour alimenter un moteur pas-à-pas qui, par l'intermédiaire d'une vis sans fin, fait se déplacer la cible. Un modèle fonctionnel du système fut complété en 1982.

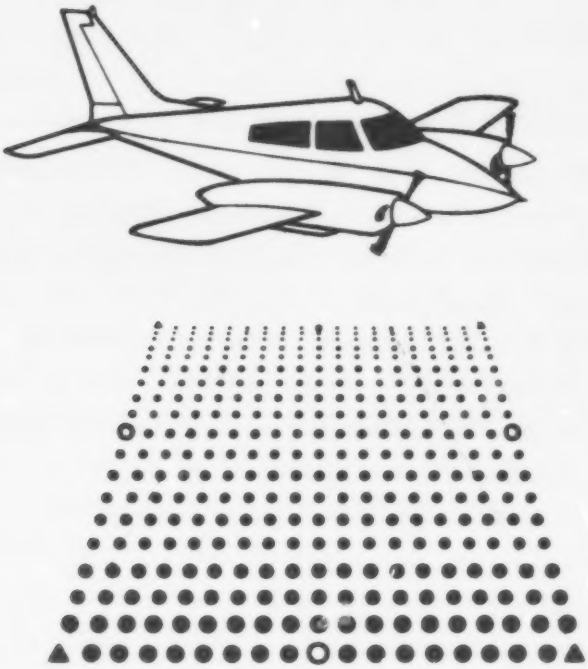
Résultats

Selon des essais effectués par le Service de la géodésie du Québec, ce système de télécommande pour le nivellement à longue portée rencontre effectivement les spécifications. On dispose ainsi d'un moyen plus facile qu'autrefois d'effectuer cette méthode de nivellement. Il est à noter enfin que le même appareillage pourrait s'adapter à d'autres applications qui nécessitent le positionnement précis d'un objet à distance (N.B. la précision disponible est au choix du requérant).

Références

Instrumentation GDD Inc., 2406, chemin des Quatre-Bourgeois, Sainte-Foy, G1V 1W5 (418-659-3513).

A 6- PHOTOGÉODÉSIE ET PRÉCISION PHOTOGRAMMÉTRIQUE



Avant-propos

Au point de vue de la gestion des projets de recherche, les études sur la photogéodésie et sur la précision photogrammétrique ont été traitées de façon distincte. Cependant, dans la pratique, il y avait nombre de points communs entre ces deux projets, voire même de l'interdépendance. Pour cette raison, ils sont traités ici sous la même rubrique.

La recherche sur la précision photogrammétrique a été entreprise vers 1980-81, à la suite de l'identification, par le Service de la cartographie du Québec (SCQ), de certaines difficultés dans l'exercice de l'aérotriangulation.

Le projet de recherche en photogéodésie était également amorcé à la même époque, à la demande du Service de la géodésie du Québec (SGQ). Ce projet visait à déterminer si la photogrammétrie pourrait

être utilisée pour établir des points géodésiques de 4^{e} ordre en milieu urbain, avec la précision spécifiée par le SGQ et à moindre coût que par les moyens habituels (polygonation).

Conduite des recherches

En ce qui concerne la précision photogrammétrique, les questions auxquelles on souhaitait obtenir réponse touchaient aux niveaux d'incertitude ou d'erreur dans les multiples étapes successives du processus: photographie négative originale; diapositive; identification des points; mesures d'aérotriangulation; propagation de l'erreur dans les blocs aérotriangulés; restitution. Aucune étude particulière ne fut entreprise en ce qui touche la production photographique originale, car le projet de photogéodésie a permis d'obtenir l'information voulue. Par contre, on examina la qualité des diapositives: en utilisant des négatifs spéciaux du Conseil national de recherches (CNR) d'Ottawa, on obtint des copies diapositives des producteurs québécois; des mesures et analyses comparatives entre les originaux et les copies furent confiées au CNR et à la Société de cartographie du Québec. Des études préalables au Québec (voir projet A 9) avaient déjà permis une évaluation de l'incertitude d'identification des points sur les photos. Enfin, à la lumière des données précédentes, une analyse mathématique fut menée par la Recherche territoriale à l'automne 1983 pour évaluer la qualité globale du processus photogrammétrique, de la prise de vues à la restitution graphique par stéréoscopie inclusivement.

Pour la photogéodésie, on souhaitait connaître: la précision de la photo originale; la densité et la distribution des appuis terrestres nécessaires; les recouvrements nécessaires lors de la prise de vues; les méthodes de calcul d'aérotriangulation fournissant la précision optimale; la quantification de cette précision; le coût de la photogéodésie par rapport à celui de la géodésie classique. Les études initiales visant une première évaluation avaient été confiées à des chercheurs de l'Université Laval; ces études fournirent

en 1980 et 1981 bon nombre des réponses et encouragèrent la poursuite de la recherche. Par la suite, la Recherche territoriale entreprit un dernier projet fondé sur l'exploitation de la photogéodésie dans un cas concret sur le territoire québécois; un réseau (classique) de points de quatrième ordre fut implanté dans la ville de Maniwaki (contrat au bureau *Grégoire-Courchesne* de Hull pour la mesure et le balisage des points), l'emplacement des points ayant été choisi pour ces fins par le Service du cadastre; la collaboration du SGQ (compléter le 2^{e} ordre, calculer le 4^{e} ordre) et du SCQ (faire prendre la photographie aérienne requise) permit de compléter l'ensemble des données de base nécessaires au projet final. Certaines étape subséquentes du projet de photogéodésie furent confiées, pour mesures et calculs, à la Société de cartographie du Québec. Le projet fut complété par la Recherche territoriale, lors d'une analyse technique et de bénéfice/coût globale, à l'hiver 1983-84.

Résultats

a) Conclusions de l'étude sur la précision photogrammétrique.

1. Pourvu que les normes actuelles d'exécution soient respectées, que les appareils soient dans un bon état de fonctionnement et que des soins normaux prévalent lors des opérations, la qualité actuelle du matériel photographique convient aux exigences cartographiques du Québec.

2. Un ensemble de paramètres dits «minimaux» est proposé en vue de garantir une qualité homogène à l'intérieur des blocs d'aérotriangulation; ces paramètres concernent le nombre et la distribution des points d'appui, le nombre et l'espacement des points de liaison intermodèles, le recouvrement et les critères de rejet touchant les calculs d'aérotriangulation.

3. Des recommandations sont faites de procéder à l'optimisation du processus photogrammétrique en vue d'une possible épargne et de fournir aux praticiens un moyen analytique objectif

(analogue, par exemple, aux covariances ou ellipses d'erreur couramment utilisées en géodésie) pour l'évaluation qualitative de chaque bloc d'aérotriangulation.

b) Conclusions de l'étude sur la photogéodésie.

1. L'utilisation de la photogéodésie permettrait de faire l'épargne de l'équipement géodésique de 3^{e} ordre (p. ex. de passer, par l'intermédiaire de la photogrammétrie, du 2^{e} ordre au quatrième ordre).

2. L'application de la photogéodésie ne serait pratique qu'en territoire relativement plat, où la photographie à l'échelle de 1:4000 peut être obtenue sans trop de difficultés.

3. Le scénario suivant, combinant la cartographie à grande échelle (1:1000) et l'installation d'un canevas photogéodésique de 4^{e} ordre, prévoit une épargne de 20 à 25 pour 100 par rapport aux coûts des méthodes actuelles:

   i) limitation de l'appui de 2^{e} ordre à la périphérie des blocs de terrain de 2,5 x 2,5 km;

   ii) matérialisation et balisage d'un quadrillage de points de 4^{e} ordre à une densité quatre fois plus grande que l'actuelle;

   iii) prise, dans une même mission, des photographies à 1:5000 pour fins cartographiques et à 1:4000 pour la photogéodésie;

   iv) mesure d'aérotriangulation directement sur les négatifs par appareil analytique ou stéréocomparateur;

   v) calcul au moyen d'un modèle mathématique dit «par faisceaux».

4. Cette méthode fournirait, sans mesure au sol sauf celle du 2^e ordre, un réseau de 4^e ordre $\sqrt{3}$ fois moins précis mais quatre fois plus dense que les réseaux actuels. Ce qui importe vraiment étant la précision d'intégration des levés de détail (*e.g.* foncier, ingénierie) dans le système géodésique, il n'y a plus qu'à rattacher ces levés en un nombre trois fois plus grand de points qu'auparavant pour obtenir la même qualité d'intégration.

Référence

Photogéodésie. Richard Moreau. Gouvernement du Québec, ministère de l'Énergie et des Ressources, Recherche territoriale. Janvier 1984.

A 7- POSITIONNEMENT INERTIEL

Avant-propos

Vers le milieu du 20^{e} siècle, la navigation maritime et aérienne bénéficiait déjà largement de méthodes d'orientation fondées sur le principe inertiel. L'application de ce principe au positionnement de précision moyenne, en plus de la navigation, date des années 1960 lorsqu'un laboratoire des forces armées des Etats-Unis équipait une plate-forme gyroscopique d'accéléromètres et d'un ordinateur spécial. Par la double intégration des accélérations échantillonnées dans chacun des axes de la plate-forme, on obtenait la position en temps réel d'un véhicule en mouvement. L'objectif à cette époque était de rendre les activités d'artillerie très mobiles et précises. L'application topographique ne s'amorça réellement que vers 1973 avec l'apparition du système *Autosurveyor* de la société *Litton*. Par la suite, deux autres systèmes furent développés, le *FILS II* de *Ferranti* et le *GEO/SPIN* de *Honeywell*. Tous ces systèmes sont dérivés de plate-formes gyroscopiques initialement conçues pour des fins militaires ou pour la navigation précise des longs parcours d'avions de ligne.

Pour son fonctionnement à des fins de positionnement, un système inertiel doit être installé dans un véhicule terrestre ou dans un hélicoptère. Ajusté initialement aux coordonnées d'un point de départ connu, il est transporté successivement aux autres points dont on désire connaître les positions (latitude, longitude, altitude); enfin, le cheminement ainsi parcouru est refermé sur un deuxième point connu. L'ordinateur du système effectue ensuite la répartition de l'erreur de fermeture et fournit les coordonnées de chacun des nouveaux points intermédiaires. Des raffinements à ce processus comprennent le croisement de cheminements et l'utilisation de logiciels à temps différé sur grands ordinateurs.

Vers la fin de la précédente décennie, plusieurs organismes d'Etat et quelques requérants privés faisaient assez couramment usage de la technologie inertielle. Au Canada, à la suite d'un développement méthodologique intensif, les Levés géodésiques mirent le système *Litton* à l'oeuvre en 1975 pour l'implantation de l'appui photogrammétrique de la cartographie 1:50 000. Plus tard, d'autres organismes dont Hydro-Québec firent appel à cette technique pour fins d'appui cartographique.

Recherches au Québec

En 1978, une première étude avait été conduite à Hydro-Québec en vue de vérifier le bien-fondé technique et la rentabilité de l'inertiel pour l'appui cartographique. Cette étude avait démontré qu'à ce moment-là, cette technique convenait aux critères de précision de la cartographie 1: 20 000. Au point de vue rentabilité cependant, tout dépendait de la nature du territoire; en terrain plutôt plat et boisé comme dans le nord-ouest québécois vers le sud de la baie de James, ses avantages (combinés à ceux du *Doppler*) paraissaient certains, mais là où le relief était suffisamment accentué et la forêt peu dense (ex: nord de la baie de James, baie d'Hudson, Basse Côte-Nord), les méthodes déjà en vigueur (conventionnelles et mesures géodésiques héliportées) demeuraient les moins coûteuses.

A partir de 1980, on décide au MER d'examiner cette technique pour en connaître le potentiel dans des applications encore plus exigeantes que l'appui de la cartographie 1: 20 000. Deux projets furent conduits par la Recherche territoriale, l'un en 1980, l'autre en 1982.

Le projet de 1980

Le Service de la géodésie du Québec avait établi un cheminement de haute qualité dans le Parc des Laurentides, reliant les réseaux fondamentaux qui longent la rive nord du Saint-Laurent et le côté sud du lac Saint-Jean. Quelques points y furent ajoutés, en vue de former deux configurations additionnelles propices à la vérification de certaines caractéristiques particulières des systèmes inertiels comme la sensibilité à l'orientation et l'influence de la fréquence des «mises à zéro» (immobilisation momentanée du système entre les points à déterminer, afin de corriger les dérives des gyroscopes et des accéléromètres).

Par le concours des Levés géodésiques du Canada, des mesures inertielles au moyen d'un système *Litton* furent exécutées sur des segments des cheminements du Parc des Laurentides, au printemps de 1980. De plus, un contrat fut accordé à *Sheltech* de Calgary pour des déterminations similaires au moyen du système *Ferranti*. Ces dernières furent terminés au début de décembre 1980.

Le projet de 1982

Certaines informations parvenues à la Recherche territoriale au début de 1982 indiquaient que des améliorations récentes au système *Ferranti* le rendaient plus performant qu'en 1980. On décida alors d'exécuter un nouveau test de ce système. Cependant, plutôt que les cheminements du Parc des Laurentides, on employa comme base de comparaison une grille de points de la région des Bois-Francs (voir

A 1). Au réseau existant on ajouta certains points pour les fins spécifiques de l'inertiel: ces travaux furent assurés par le Service de la géodésie et le bureau d'arpenteurs *Rochette et Lahaie* de Shawinigan. Enfin, les préparatifs et la conduite du projet inertiel furent confiés par contrat à la *Société de positionnement inertiel et spatial* (*SPINS*) de Montréal, laquelle fit appel, pour les mesures elles-mêmes, à *Nortech* de Calgary.

Les résultats

Après l'analyse des résultats des tests de 1980, rapport fut fait aux intéressés du MER et au symposium international de juin 1981. Selon ces résultats, l'inertiel pouvait être utilisé aux fins d'appui cartographique pour les échelles 1: 10 000 et plus petites, ce qui marquait une amélioration depuis 1978; aucune règle générale ne pouvait cependant être élaborée quant à sa rentabilité, chaque projet de cartographie devant être prééxaminé pour décider s'il se prêtait mieux à l'inertiel qu'aux autres techniques disponibles.

A partir des données du projet de fin 1982, on a pu conclure qu'effectivement, certaines améliorations dans le système *Ferranti* lui-même ou dans la méthodologie d'exploitation avaient porté fruit. Ainsi, les résultats permettaient de conclure que ce système pouvait maintenant servir à l'appui altimétrique de la cartographie d'échelle 1: 5000 ou plus petite.

Des tests et analyses semblables sont prévus pour 1984 avec le plus récent modèle du système *Litton*.

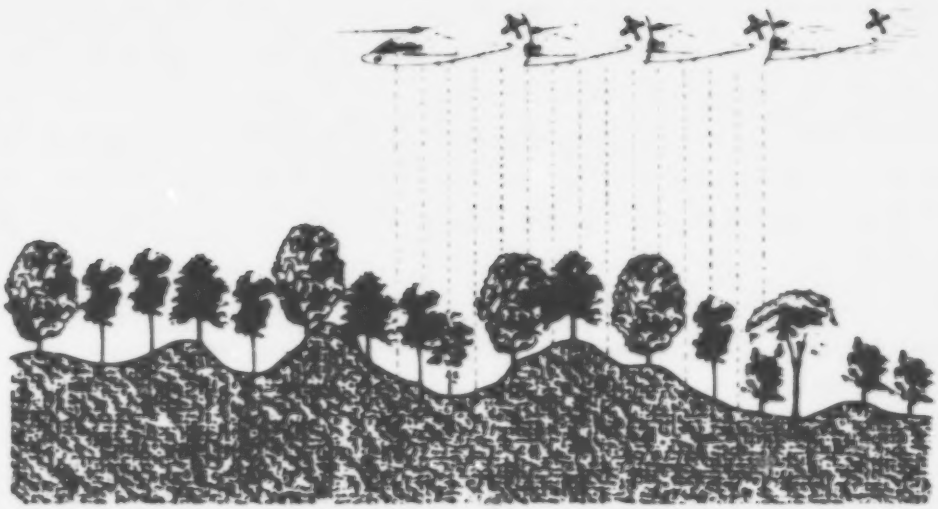
Références

Inertial geodesy in Canada. L.F. Gregerson. American Geophysical Union, San Francisco, 1975.

Inertial results vs integrated survey standards. Richard Moreau. Comptes rendus du Deuxième Symposium sur l'Inertiel, Banff, juin 1981.

Rapports internes 1981 et 1983 de la Recherche territoriale. Gouvernement du Québec, ministère de l'Énergie et des Ressources, Recherche territoriale.

A 8- PROFILAGE PAR LASER



Avant-propos

Traditionnellement, le relevé hypsométrique pour des fins de cartographie spéciale (ex: études des dangers d'inondation) ou de génie civil (ex: études de cubage pour routes ou digues, profils pour transport d'énergie) s'effectuait par nivellement classique ou par photogrammétrie. Cette dernière technique doit être limitée cependant aux terrains pratiquement dénudés. Une nouvelle technique est maintenant disponible commercialement, qui permet de réduire les relevés au sol et de contourner le désavantage de la photogrammétrie en présence de végétation. Il s'agit de l'utilisation simultanée dans un hélicoptère, d'un système de positionnement inertiel et d'un laser dont le rayon, maintenu vertical, mesure la hauteur de l'hélicoptère au-dessus du sol (ou du feuillage). Comme pour l'usage strictement positionnel du système inertiel (voir A 7), des points de base prédéterminés sont nécessaires aux extrémités de la bande de terrain à relever. L'hélicoptère couvre le terrain au moyen de plusieurs lignes de vol parallèles. Pendant le vol, le système inertiel détermine continûment la position en X, Y et Z du «point zéro» du laser, ainsi que les variations d'assiette de l'hélicoptère; par un servomécanisme, ces variations d'assiette permettent de maintenir la verticalité du rayon.

En soustrayant la hauteur H, mesurée par le laser, du Z fourni par le système inertiel, on définit l'altitude du sol. Un grand nombre de points successifs sont ainsi déterminés. En terrain boisé, le rayon laser «profite» des moindres ouvertures dans le feuillage pour échantillonner la distance hélicoptère/sol. Par la suite, les points les plus bas sont reliés mathématiquement entre eux pour reconstituer les profils du sol (il est à noter que les points hauts, qui sont éliminés pour fins topographiques, peuvent néanmoins servir aux forestiers pour connaître la hauteur des arbres). Dans l'hélicoptère, les échantillons à intervalle très rapproché de X, Y, Z et H sont enregistrés sur support magnétique pendant le déplacement d'un point de base à l'autre. Enfin, lorsque tous les profils désirés ont été ainsi relevés, un traitement informatique en différé permet de convertir toutes les données et de les présenter sous la forme demandée par le client, par exemple: profils en long et en travers; courbes de niveau; altitudes interpolées sur une grille régulière («modèle numérique de terrain» - MNT).

En vue d'évaluer cette technique sous l'aspect tant technique qu'économique, on décida à la mi-1983 d'en faire l'essai au Québec.

Le test de 1983

Un terrain fut choisi à la suggestion du Service du génie de la Direction générale des forêts du MER. L'emplacement, susceptible de constituer un défi pour les caractéristiques du profilage par laser, est situé à quelque 100 km à l'ouest de Maniwaki. Deux zones d'essai furent délimitées, l'une pour la production d'une carte à grande échelle (courbes de niveau), l'autre pour la production à profils détaillés. Les données «classiques» pour ces deux zones sont déjà connues, de sorte que la comparaison classique/profilage laser pourra se faire rapidement.

Les préparatifs pour le projet de mesures et la conduite de son exécution sur le terrain furent confiés à la *Société de positionnement inertiel et spatial* de Montréal, laquelle fit appel, pour

l'appareillage, à *Nortech* de Calgary. Le travail a été effectué à la fin de novembre 1983.

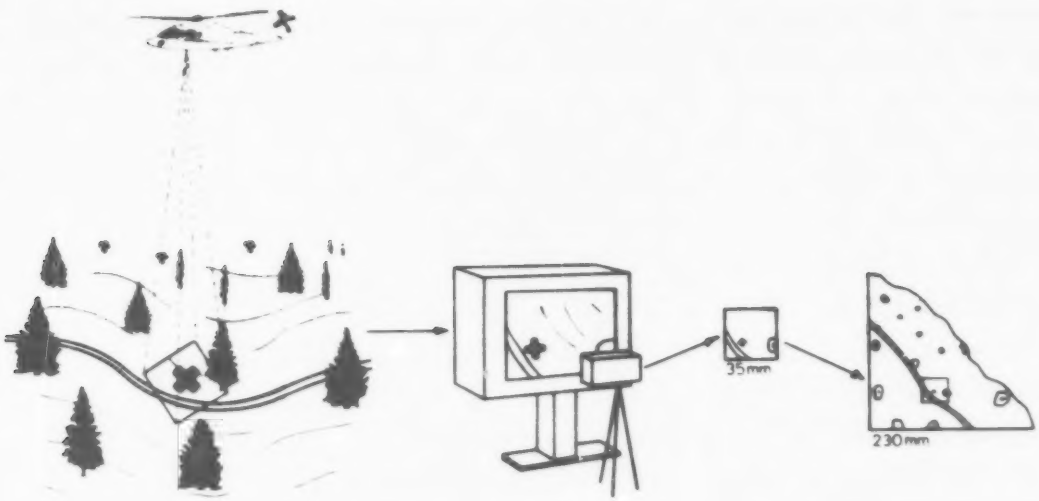
Résultats

Il est prévu que l'analyse des résultats sera complétée à la Recherche territoriale au printemps de 1984.

Référence

Terrain profiling using an inertial survey system integrated with an airborne laser altimeter. M.L. Engler, 1983. ACSM-ASP Fall Convention, Salt Lake City, Utah.

A 9- LE VIDÉOTRANSFERT



Avant-propos

La question de l'identification très précise des points au sol (points d'appui ou encore points devant être relevés photogrammétriquement) sur les photographies aériennes, a toujours posé un certain nombre de problèmes. Le moyen habituel utilisé pour les applications d'échelle moyenne de la photogrammétrie est la pose de balises de coton blanc; ce moyen, en principe idéal, souffre quand même de certains inconvénients - le contraste avec le sol environnant est souvent insuffisant au «point de vue» de l'émulsion photographique - quelquefois la balise subit vandalisme ou dommages entre le moment de sa pose et la prise de vues - l'installation de grandes balises occasionne des coûts assez importants (déboisement d'une surface assez grande, temps et matériaux requis pour une mise en place résistant aux intempéries, etc..). On remarque que cette méthode de balisage est habituellement appliquée en territoire éloigné où le transport par hélicoptère est de rigueur.

Or une méthode déjà appliquée par certains pour réduire les inconvénients des grandes balises était celle du photo-transfert. On pouvait se permettre d'employer de petites balises temporaires peu

coûteuses et d'en capter l'image dans la topographie environnante au moyen, par exemple, d'une caméra 35 mm lors d'un survol à basse altitude en petit avion ou en hélicoptère. Par l'utilisation subséquente de la diapositive 35 mm (grande échelle), on pouvait transférer l'emplacement de la petite balise sur la photographie d'échelle moyenne devant servir, par exemple, à une cartographie; cette opération s'effectuait en utilisant un appareil communément nommé *PUG* qui permet de transférer un point identifié d'un photo à une autre photo en apposant à cette dernière une marque artificielle. Le photo-transfert résout le problème du vandalisme, du bris ou de la disparition des balises et réduit les coûts, mais n'est cependant pas absolument sécuritaire: en effet, il y a toujours risque (vu le développement nécessairement tardif du film) que le contraste soit insuffisant ou même que les images désirées soient floues ou inexistantes, exigeant un retour coûteux sur le terrain pour les reprises.

Afin de palier à ce dernier inconvénient du photo-transfert, la Recherche territoriale entreprenait à l'été 1979 de tenter l'expérience du captage par vidéo plutôt que par photo 35 mm.

Le développement expérimental de 1979-80

Avant d'effectuer toute dépense importante (ex: temps d'hélicoptère), des tests en laboratoire ont été effectués au moyen d'appareils vidéo commerciaux (caméra, enregistreur, moniteur). On observa que le processus vidéo n'introduisait pas de déformation indue.

Ensuite, un lieu d'essai fut choisi à la suggestion du Service de l'arpentage, et le Service de la cartographie mit un hélicoptère à la disposition de la Recherche. L'essai était exécuté sur quatre points d'arpentage au sud de Montmagny. La technique était la suivante: pose d'une petite balise sur le point; survol immédiat du point et captage d'une image vidéo d'une durée de quelques secondes; toujours en vol, vérification immédiate de l'image au moyen d'un petit moniteur à bord de l'hélicoptère, pour s'assurer positivement de la

présence et du contraste de la balise par rapport au détail topographique qui l'entoure; déplacement immédiat jusqu'au point suivant nécessitant l'identification, etc.

Les images enregistrées sur vidéo-cassette furent par la suite visionnées en laboratoire sur un moniteur de qualité (arrêt de l'image au cadre de meilleure apparence) et transférées, comme l'indique le schéma, sur diapositives. Le reste du processus fut le même qu'avec le photo-transfert. Selon le technicien du SCQ qui effectua le transfert par *PUG*, les images dérivées du vidéo se sont bien fusionnées stéréoscopiquement aux parties correspondantes des photos d'échelle moyenne, ce qui permit un marquage artificiel positif. Détail à noter: on doit prévoir les divers paramètres (focale de la caméra vidéo, hauteur de l'hélicoptère, focale de la caméra 35 mm et sa distance du moniteur) de manière à obtenir sur la dispositive 35 mm une image dont l'échelle est d'environ 2,5 fois plus grande que celle de la photo aérienne haute-altitude.

Le projet exigea également la détermination géodésique précise des quatre points du test (collaboration du Service de l'arpentage et du SGQ). Aussi, une aérotriangulation bien appuyée et restreinte aux seules photos immédiatement concernées fut exécutée par le SCQ, au moyen de laquelle les points artificiels provenant du vidéotransfert furent relevés et calculés photogrammétriquement.

Résultats

La comparaison des coordonnées obtenues par vidéotransfert et photogrammétrie, à celles des mesures géodésiques précises, indiqua un niveau de précision amplement suffisant pour fins cartographiques (mieux que 10 µm à l'échelle de la photo haute-altitude). Il était aussi démontré qu'en territoire où l'hélicoptère est de toutes façons nécessaire, le vidéotransfert est beaucoup mois onéreux que la pose de grandes balises semi-permanentes. Autre avantage – il n'est pas nécessaire d'effectuer le captage vidéo avant la prise de vue principale.

Le processus de vidéotransfert est utilisé de façon courante depuis trois ans par le Service de l'arpentage, qui y fait appel pour la détermination photogrammétrique, à l'intérieur des blocs servant à la cartographie 1: 20 000, des nombreux points nécessaires à la compilation du découpage des terres publiques.

Références

Rapport sur le projet de recherche en photo-identification. Gouvernement du Québec, ministère de l'Énergie et des Ressources, Recherche territoriale. Mai 1980.

Le vidéotransfert en aérotriangulation. Richard Moreau, Le Géomètre canadien, juin 1981.

B 1- Direction des relevés techniques

Cette direction a amorcé certaines recherches en vue de mettre en place un système d'information géographique et foncier de base pour le Québec (Base géographique québécoise - BGQ). Notons en particulier un avant-projet en vue du choix d'une structure optimale pour la BGQ et l'évaluation du potentiel de nouveaux types d'ordinateur pour diverses fonctions (*e.g.*, calculs scientifiques, stockage, images de télédétection). Pour de plus amples renseignements: Direction des relevés techniques, 1995, boul. Charest Ouest, Sainte-Foy, Québec, G1N 4H9.

B 2- Service du cadastre

Ce service possède déjà un système informatisé pour le traitement des registres et index cadastraux. Du développement additionnel est en cours pour l'interface entre ce système et les fichiers de topographie numérique et pour d'autres transformations numériques. Pour de plus amples renseignements: Service du cadastre, 2125, rue Branly, Sainte-Foy, Québec, G1N 4C7.

B 3- Service de la cartographie

Ce service poursuit le développement de méthodes, commandes et logiciels visant l'amélioration de la productivité en topographie/cartographie numérique. Du développement (surtout de nature informatique) se poursuit quant au fichier des limites administratives et municipales (FILAM) et à l'application de la télédétection en foresterie. Pour de plus amples renseignements: Service de la cartographie, 1995, boul. Charest ouest, Sainte-Foy, Québec, G1N 4H9.

B 4- Service de la concession des terres

Ce service possède déjà un système informatisé d'information sur la tenure et l'affectation des terres (SITAT). Un peu de développement informatique additionnel est nécessaire pour le rendre

entièrement opérationnel. Pour renseignements additionnels: Service de la concession des terres, 200-B, chemin Sainte-Foy, Québec, G1R 4X7.

B 5- Service de la géodésie

Ce service a conduit, ces dernières année, des études ou développements avec la collaboration de professeurs de l'Université Laval, sur la matérialisation des points géodésiques et la réalisation d'un «carnet de notes» électronique. Il a défini le système d'information géodésique GÉODEQ, qui est maintenant en opération, mais pour lequel certains raffinements additionnels sont en voie de développement. Pour renseignements additionnels: Service de la géodésie, 1995, boul. Charest ouest, Sainte-Foy, Québec, G1N 4H9